

# PATENT ABSTRACTS OF JAPAN

(11)Publication number : 07-094833

(43)Date of publication of application : 07.04.1995

(51)Int.Cl.

H01S 3/18  
H01S 3/103

(21)Application number : 05-236058

(71)Applicant : MITSUBISHI ELECTRIC CORP

(22)Date of filing : 22.09.1993

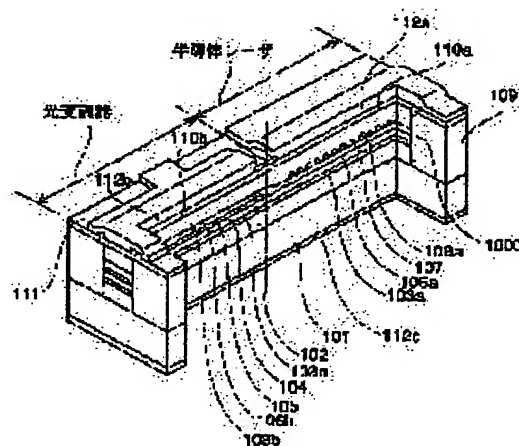
(72)Inventor : TAKEMI MASAYOSHI  
KINETSUKI HIROTAKE

## (54) SEMICONDUCTOR LASER AND ITS MANUFACTURING METHOD

(57)Abstract:

**PURPOSE:** To obtain a semiconductor laser which is superior in element reliability and has a long-life optical modulator.

**CONSTITUTION:** By laying out a lattice mis-matching layer 105 on the upper layer of same and uniform layer-thickness quantum well structure layers 103a and 103b which are subjected to epitaxial growth collectively by a normal and first epitaxial growth process, the band gap of the quantum well structure layers 103a and 103b is allowed to differ partially, thus forming the activated layer 103a of semiconductor laser and the light absorption layer 103b of a optical modulator. Therefore, the transmission efficiency of laser beam to the optical modulator can be improved drastically as compared with before and the activated layer of semiconductor laser and the semiconductor layer of the light absorption layer of the optical modulator can be improved extremely to obtain a reliable semiconductor laser with a long-life optical modulator.



## LEGAL STATUS

[Date of request for examination]

[Date of sending the examiner's decision of rejection]

[Kind of final disposal of application other than the examiner's decision of rejection or application converted registration]

[Date of final disposal for application]

[Patent number]

[Date of registration]

[Number of appeal against examiner's decision of rejection]

[Date of requesting appeal against examiner's

(19) 日本国特許庁 (J P)

(12) 公開特許公報 (A)

(11) 特許出願公開番号

特開平7-94833

(43) 公開日 平成7年(1995)4月7日

(51) Int.Cl.<sup>6</sup>

H 0 1 S 3/18  
3/103

識別記号

庁内整理番号

F I

技術表示箇所

審査請求 未請求 請求項の数28 O L (全 24 頁)

(21) 出願番号 特願平5-236058

(22) 出願日 平成5年(1993)9月22日

(71) 出願人 000006013

三菱電機株式会社

東京都千代田区丸の内二丁目2番3号

(72) 発明者 竹見 政義

兵庫県伊丹市瑞原4丁目1番地 三菱電機  
株式会社光・マイクロ波デバイス開発研究  
所内

(72) 発明者 杵築 弘隆

兵庫県伊丹市瑞原4丁目1番地 三菱電機  
株式会社光・マイクロ波デバイス開発研究  
所内

(74) 代理人 弁理士 早瀬 意一

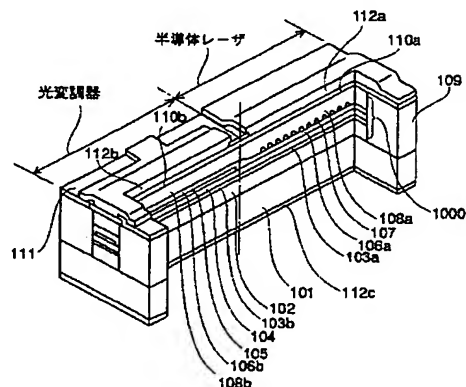
(54) 【発明の名称】 半導体レーザおよびその製造方法

(57) 【要約】

【目的】 素子の信頼性に優れ、長寿命の光変調器付き半導体レーザを得ることを目的とする。

【構成】 通常の1回目のエビタキシャル成長工程により一括してエビタキシャル成長された同一の、かつ均一な層厚の量子井戸構造層103の上層に格子不整合層105を配置することによって該量子井戸構造層のバンドギャップを部分的に異ならしめ、これによって半導体レーザの活性層103aと光変調器の光吸収層103bとを形成するようにした。

【効果】 レーザ光の光変調器への伝達効率を従来に比べて大きく向上することができ、また、半導体レーザの活性層と光変調器の光吸収層の半導体層の品質を非常に優れたものとでき、高信頼性で、かつ、長寿命の光変調器付き半導体レーザが得られる。



101: n型InP基板  
102: n型InP下側クラッド層  
103: 多量量子井戸活性層  
104: p型InP第1上側クラッド層  
105: p型GaInP格子不整合層  
106: p型InP第2上側クラッド層  
107: p型InGaAsP光ガイド層  
108: p型InPキャップ層  
109: FeドープInPブロック層  
110: p型InGaAsコンタクト層  
111: SiN膜  
112a: レーザ用p側電極  
112b: 光変調器用p側電極  
112c: 共通n側電極

1

## 【特許請求の範囲】

【請求項1】 半導体基板上の第1の領域に配置された半導体レーザと、上記半導体基板上の、上記第1の領域に隣接する第2の領域に配置された、上記半導体レーザで発生したレーザ光を透過させ、あるいは吸収して変調光を出力する電界吸収型的光変調器とを有する光変調器付きの半導体レーザにおいて、

上記基板上の上記第1、第2の領域に連続して配置された、量子井戸構造層を含む半導体積層構造と、上記第2の領域に配置された上記半導体積層構造上に配置された、上記半導体基板の格子定数よりも小さい格子定数を有する半導体からなる格子不整合層とを備えたことを特徴とする半導体レーザ。

【請求項2】 半導体基板上の第1の領域に配置された半導体レーザと、上記半導体基板上の、上記第1の領域に隣接する第2の領域に配置された、上記半導体レーザで発生したレーザ光を透過させ、あるいは吸収して変調光を出力する電界吸収型的光変調器とを有する光変調器付きの半導体レーザにおいて、

上記基板上の上記第1、第2の領域に連続して配置された、量子井戸構造層を含む半導体積層構造と、上記第1の領域に配置された上記半導体積層構造上に配置された、上記半導体基板の格子定数よりも大きい格子定数を有する半導体からなる格子不整合層とを備えたことを特徴とする半導体レーザ。

【請求項3】 半導体基板上の第1の領域に配置された半導体レーザと、上記半導体基板上の、上記第1の領域に隣接する第2の領域に配置された、上記半導体レーザで発生したレーザ光を透過させ、あるいは吸収して変調光を出力する電界吸収型的光変調器とを有する光変調器付きの半導体レーザにおいて、

上記基板上の上記第1、第2の領域に連続して配置された、量子井戸構造層を含む半導体積層構造と、

上記第1、及び第2の領域に配置された上記半導体積層構造上に連続して配置された、上記半導体基板の格子定数よりも小さい格子定数を有する半導体からなる格子不整合層とを備え、

上記量子井戸構造層を構成するウェル層の上端部から上記半導体層の下端部までの厚みが、上記第1の領域では $t_1$ であり、上記第2の領域では $t_2$ であって、 $t_1 > t_2$ の関係を満たして形成されていることを特徴とする光変調器付き半導体レーザ。

【請求項4】 半導体基板上の第1の領域に配置された半導体レーザと、上記半導体基板上の、上記第1の領域に隣接する第2の領域に配置された、上記半導体レーザで発生したレーザ光を透過させ、あるいは吸収して変調光を出力する電界吸収型的光変調器とを有する光変調器付きの半導体レーザにおいて、

上記基板上の上記第1、第2の領域に連続して配置された、量子井戸構造層を含む半導体積層構造と、

2

上記第1、及び第2の領域に配置された上記半導体積層構造上に連続して配置された、上記半導体基板の格子定数よりも大きい格子定数を有する半導体からなる格子不整合層とを備え、

上記量子井戸構造層を構成するウェル層の上端部から上記半導体層の下端部までの厚みが、上記第1の領域では $t_1$ であり、上記第2の領域では $t_2$ であって、 $t_1 < t_2$ の関係を満たして形成されていることを特徴とする光変調器付き半導体レーザ。

10 【請求項5】 請求項1または2記載の半導体レーザにおいて、

上記量子井戸構造層を構成するウェル層のうち最上層のウェル層の上端部から上記半導体層の下端部までの厚みが $0.03\mu\text{m}$ 以上であり、かつ上記量子井戸構造層を構成するウェル層のうち最下層のウェル層の上端部から上記半導体層の下端部までの厚みが $0.08\mu\text{m}$ 以下であることを特徴とする半導体レーザ。

【請求項6】 請求項3または4記載の半導体レーザにおいて、

20 上記 $t_1$ と $t_2$ のうち、大きな方の厚みが $0.08\mu\text{m}$ より大きく、

上記 $t_1$ と $t_2$ のうち、小さな方の厚みが $0.08\mu\text{m}$ 以下であることを特徴とする半導体レーザ。

【請求項7】 請求項1または3記載の半導体レーザにおいて、

上記半導体基板がInP基板であり、

上記半導体積層構造がInP、InGaAs、InGaAsP層の一部、もしくは全部を組み合わせて構成された積層構造であり、

30 上記格子不整合層がGaInP層であることを特徴とする半導体レーザ。

【請求項8】 請求項2または4記載の半導体レーザにおいて、

上記半導体基板がInP基板であり、

上記半導体積層構造がInP、InGaAs、InGaAsP層の一部、もしくは全部を組み合わせて構成された積層構造であり、

上記格子不整合層がInAsP層であることを特徴とする半導体レーザ。

40 【請求項9】 半導体基板上の第1の領域に配置された半導体レーザと、上記半導体基板上の、上記第1の領域に隣接する第2の領域に配置された、上記半導体レーザで発生したレーザ光を透過させ、あるいは吸収して変調光を出力する電界吸収型的光変調器とを有する光変調器付きの半導体レーザを製造する方法において、

半導体基板上の上記第1、第2の領域に、該2つの領域に連続して、量子井戸構造層を含む半導体積層構造を形成する工程と、

50 該半導体積層構造上に上記半導体基板の格子定数よりも小さい格子定数を有する半導体からなる格子不整合層を

形成する工程と、

該格子不整合層を、上記第2の領域に形成された半導体積層構造上の部分のみを残して他の部分をエッチング除去する工程とを含むことを特徴とする半導体レーザの製造方法。

【請求項10】 半導体基板上の第1の領域に配置された半導体レーザと、上記半導体基板上の、上記第1の領域に隣接する第2の領域に配置された、上記半導体レーザで発生したレーザ光を透過させ、あるいは吸収して変調光を出力する電界吸収型的光変調器とを有する光変調器付きの半導体レーザを製造する方法において、半導体基板上の上記第1、第2の領域に、該2つの領域に連続して、量子井戸構造層を含む半導体積層構造を形成する工程と、

該半導体積層構造上に絶縁膜を成膜し、該絶縁膜を上記第2の領域に形成された半導体積層構造上に開口を有する形状にパターニングする工程と、

該パターニングした絶縁膜を選択マスクとして、上記第2の領域に形成された半導体積層構造上に選択的に上記半導体基板の格子定数よりも小さい格子定数を有する半導体からなる格子不整合層を形成する工程とを含むことを特徴とする半導体レーザの製造方法。

【請求項11】 半導体基板上の第1の領域に配置された半導体レーザと、上記半導体基板上の、上記第1の領域に隣接する第2の領域に配置された、上記半導体レーザで発生したレーザ光を透過させ、あるいは吸収して変調光を出力する電界吸収型的光変調器とを有する光変調器付きの半導体レーザを製造する方法において、半導体基板上の上記第1、第2の領域に、該2つの領域に連続して、量子井戸構造層を含む半導体積層構造を形成する工程と、

該半導体積層構造上に上記半導体基板の格子定数よりも大きい格子定数を有する半導体からなる格子不整合層を形成する工程と、

該格子不整合層を、上記第1の領域に形成された半導体積層構造上の部分のみを残して他の部分をエッチング除去する工程とを含むことを特徴とする半導体レーザの製造方法。

【請求項12】 半導体基板上の第1の領域に配置された半導体レーザと、上記半導体基板上の、上記第1の領域に隣接する第2の領域に配置された、上記半導体レーザで発生したレーザ光を透過させ、あるいは吸収して変調光を出力する電界吸収型的光変調器とを有する光変調器付きの半導体レーザを製造する方法において、半導体基板上の上記第1、第2の領域に、該2つの領域に連続して、量子井戸構造層を含む半導体積層構造を形成する工程と、

該半導体積層構造上に絶縁膜を成膜し、該絶縁膜を上記第1の領域に形成された半導体積層構造上に開口を有する形状にパターニングする工程と、

該パターニングした絶縁膜を選択マスクとして、上記第1の領域に形成された半導体積層構造上に選択的に上記半導体基板の格子定数よりも大きい格子定数を有する半導体からなる格子不整合層を形成する工程とを含むことを特徴とする半導体レーザの製造方法。

【請求項13】 半導体基板上の第1の領域に配置された半導体レーザと、上記半導体基板上の、上記第1の領域に隣接する第2の領域に配置された、上記半導体レーザで発生したレーザ光を透過させ、あるいは吸収して変調光を出力する電界吸収型的光変調器とを有する光変調器付きの半導体レーザを製造する方法において、半導体基板上の上記第1、第2の領域に、該2つの領域に連続して、量子井戸構造層及びその上層に配置され、上記第1の領域での厚みが上記第2の領域での厚みよりも厚い半導体層を含む半導体積層構造を形成する工程と、

該半導体積層構造上に、上記2つの領域に連続して、上記半導体基板の格子定数よりも小さい格子定数を有する半導体からなる格子不整合層を形成する工程とを含むことを特徴とする半導体レーザの製造方法。

【請求項14】 半導体基板上の第1の領域に配置された半導体レーザと、上記半導体基板上の、上記第1の領域に隣接する第2の領域に配置された、上記半導体レーザで発生したレーザ光を透過させ、あるいは吸収して変調光を出力する電界吸収型的光変調器とを有する光変調器付きの半導体レーザを製造する方法において、半導体基板上の上記第1、第2の領域に、該2つの領域に連続して、量子井戸構造層及びその上層に配置され、上記第1の領域での厚みが上記第2の領域での厚みよりも薄い半導体層を含む半導体積層構造を形成する工程と、

該半導体積層構造上に、上記2つの領域に連続して、上記半導体基板の格子定数よりも大きい格子定数を有する半導体からなる格子不整合層を形成する工程とを含むことを特徴とする半導体レーザの製造方法。

【請求項15】 半導体基板上に配置された、量子井戸構造の活性層を含む半導体積層構造と、該半導体積層構造上の所定部分に配置された上記半導体基板の格子定数よりも小さい格子定数を有する半導体からなる格子不整合層と、上記格子不整合層が形成されている領域の直下の上記活性層部分を含んで形成された出射端面とを備えたことを特徴とする半導体レーザ。

【請求項16】 半導体基板上に配置された、量子井戸構造の活性層を含む半導体積層構造と、該半導体積層構造上の所定部分に配置された上記半導体基板の格子定数よりも大きい格子定数を有する半導体からなる格子不整合層と、

上記格子不整合層が形成されていない領域の直下の上記活性層部分を含んで形成された出射端面とを備えたこと

を特徴とする半導体レーザ。

【請求項17】 半導体基板上に配置された、量子井戸構造の活性層と該活性層上に配置された所定部分の層厚が他の部分の層厚よりも厚い半導体層とを含む半導体積層構造と、

該半導体積層構造上に配置された上記半導体基板の格子定数よりも小さい格子定数を有する半導体からなる格子不整合層と、

上記半導体積層構造の上記半導体層の層厚が薄い部分を含んで形成された出射端面とを備えたことを特徴とする半導体レーザ。

【請求項18】 半導体基板上に配置された、量子井戸構造の活性層と該活性層上に配置された所定部分の層厚が他の部分の層厚よりも厚い半導体層とを含む半導体積層構造と、

該半導体積層構造上に配置された上記半導体基板の格子定数よりも大きい格子定数を有する半導体からなる格子不整合層と、

上記半導体積層構造の上記半導体層の層厚が厚い部分を含んで形成された出射端面とを備えたことを特徴とする半導体レーザ。

【請求項19】 請求項15または16記載の半導体レーザにおいて、

上記量子井戸構造層を構成するウェル層のうち最上層のウェル層の上端部から上記格子不整合層の下端部までの厚みが0.03 $\mu$ m以上であり、かつ上記量子井戸構造層を構成するウェル層のうち最下層のウェル層の上端部から上記格子不整合層の下端部までの厚みが0.08 $\mu$ m以下であることを特徴とする半導体レーザ。

【請求項20】 請求項17または18記載の半導体レーザにおいて、

上記半導体積層構造の上記半導体層の層厚が厚い部分での上記量子井戸構造層を構成するウェル層のうち最上層のウェル層の上端部から上記格子不整合層の下端部までの厚みが0.08 $\mu$ m以上であり、

上記半導体積層構造の上記半導体層の層厚が薄い部分での上記量子井戸構造層を構成するウェル層のうち最下層のウェル層の上端部から上記格子不整合層の下端部までの厚みが0.08 $\mu$ m以下であることを特徴とする半導体レーザ。

【請求項21】 請求項15または17記載の半導体レーザにおいて、

上記半導体基板がGaAs基板であり、  
上記半導体積層構造がGaAs, AlGaAs, GaInP, AlGaInP層の一部、もしくは全部を組み合わせて構成された積層構造であり、  
上記格子不整合層がGaAsよりも格子定数の小さい組成のGaInP層であることを特徴とする半導体レーザ。

【請求項22】 請求項16または18記載の半導体

レーザにおいて、

上記半導体基板がGaAs基板であり、

上記半導体積層構造がGaAs, AlGaAs, GaInP, AlGaInP層の一部、もしくは全部を組み合わせて構成された積層構造であり、

上記格子不整合層がGaAsよりも格子定数の大きい組成のGaInP層であることを特徴とする半導体レーザ。

【請求項23】 半導体基板上に、量子井戸構造の活性層を含む半導体積層構造を形成する工程と、

上記半導体積層構造上に上記半導体基板の格子定数よりも小さい格子定数を有する半導体からなる格子不整合層を形成する工程と、

出射端面となるべき領域を含む部分以外の上記格子不整合層をエッチング除去する工程とを含むことを特徴とする半導体レーザの製造方法。

【請求項24】 半導体基板上に、量子井戸構造の活性層を含む半導体積層構造を形成する工程と、

該半導体積層構造上に絶縁膜を成膜し、該絶縁膜を出射端面となるべき領域を含む部分の上記半導体積層構造上に開口を有する形状にパターニングする工程と、

該パターニングした絶縁膜を選択マスクとして、上記出射端面となるべき領域を含む部分の上記半導体積層構造上に選択的に上記半導体基板の格子定数よりも小さい格子定数を有する半導体からなる格子不整合層を形成する工程とを含むことを特徴とする半導体レーザの製造方法。

【請求項25】 半導体基板上に、量子井戸構造の活性層を含む半導体積層構造を形成する工程と、

上記半導体積層構造上に上記半導体基板の格子定数よりも大きい格子定数を有する半導体からなる格子不整合層を形成する工程と、

出射端面となるべき領域及びその近傍の上記格子不整合層をエッチング除去する工程とを含むことを特徴とする半導体レーザの製造方法。

【請求項26】 半導体基板上に、量子井戸構造の活性層を含む半導体積層構造を形成する工程と、

該半導体積層構造上に絶縁膜を成膜し、該絶縁膜を出射端面となるべき領域及びその近傍以外の部分の上記半導体積層構造上に開口を有する形状にパターニングする工程と、

該パターニングした絶縁膜を選択マスクとして、上記出射端面となるべき領域及びその近傍以外の部分の上記半導体積層構造上に選択的に上記半導体基板の格子定数よりも大きい格子定数を有する半導体からなる格子不整合層を形成する工程とを含むことを特徴とする半導体レーザの製造方法。

【請求項27】 半導体基板上に、量子井戸構造の活性層及びその上層に配置された、出射端面となるべき領域及びその近傍での厚みがそれ以外の領域での厚みよりも

薄い半導体層を含む半導体積層構造を形成する工程と、上記半導体積層構造上に上記半導体基板の格子定数よりも小さい格子定数を有する半導体からなる格子不整合層を形成する工程とを含むことを特徴とする半導体レーザの製造方法。

【請求項28】 半導体基板上に、量子井戸構造の活性層及びその上層に配置された、出射端面となるべき領域及びその近傍での厚みがそれ以外の領域での厚みよりも厚い半導体層を含む半導体積層構造を形成する工程と、上記半導体積層構造上に上記半導体基板の格子定数よりも大きい格子定数を有する半導体からなる格子不整合層を形成する工程とを含むことを特徴とする半導体レーザの製造方法。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【産業上の利用分野】この発明は、半導体発光素子と電界吸収型光変調器とを同一基板上にモノリシックに集積することにより高速変調可能とした集積化光源である光変調器付きの半導体レーザとその製造方法、および、半導体レーザの出射端面部分に活性層よりも大きなエネルギーバンドギャップを有する端面窓層を有する半導体レーザとその製造方法に関するものである。

【0002】

【従来の技術】InP基板上に作製された長波長帯半導体発光素子（以下、単に半導体レーザと称す。）と電界吸収型光変調器（以下、単に光変調器と称す。）とを同一基板上にモノリシックに集積した集積化光源は、高速変調光通信用の信号光源として用いられる。

【0003】図16は例えばジャーナル オブ ライト ウェーブ テクノロジー、8巻、9号、1357~1362頁(Journal of Lightwave Technology, Vol.8, No. 9, 1990, p.1357-1362)に記載された、半導体レーザと光変調器とを集積化した光変調器付き半導体レーザの構造を示す図であり、図16(a)はその全体構造を示す一部切り欠き斜視図、図16(b)はレーザの主要部の共振器長方向に沿った断面図である。

【0004】これらの図において、300aは光変調器領域、300bは半導体レーザ領域であり、301はn型InP基板である。302はn型InGaAsP光ガイド層、303はアンドープInGaAsP活性層、304はアンドープInGaAsPバッファ層、305はp型InP層である。また、306はアンドープInGaAsP光吸収層、307はアンドープInGaAsPバッファ層、308はp型InPクラッド層である。310は回折格子、311はFeドープInP電流ブロック層、312はInGaAsコンタクト層、313はp型不純物拡散領域、314はSiN絶縁膜、315は光変調器用p側電極、316は半導体レーザ用p側電極、317は光変調器と半導体レーザに共通のn側電極である。

【0005】また、図17は図16に示す光変調器集積化半導体レーザの製造方法を示す図であり、図17(a)~(d)は工程別の断面図、図17(e)~(i)は工程別の斜視図である。

【0006】以下、製造工程を説明する。まず、図17(a)に示すように、n型InP基板301の(100)面上の半導体レーザを形成すべき領域（図中Bで示す領域）に、240nmピッチの $\lambda/4$ シフト回折格子310を形成する。次に、図17(b)に示すように、このn型InP基板301の(100)面上に、厚さ0.1 $\mu$ m、波長( $\lambda$ )1.3 $\mu$ mのn型InGaAsP光ガイド層302、厚さ0.1 $\mu$ m、波長( $\lambda$ )1.57 $\mu$ mのアンドープInGaAsP活性層303、厚さ0.1 $\mu$ m、波長( $\lambda$ )1.3 $\mu$ mのアンドープInGaAsPバッファ層304、及び厚さ約1 $\mu$ mのp型InP層305をこの順に液相エピタキシャル成長法により連続成長し、さらに、p型InP層305上にレジスト膜320を成膜する。

【0007】次に、通常の写真製版技術により、該レジスト膜320の光変調器を形成すべき領域（図中Aで示す領域）上にある部分を除去した後、該レジスト膜パターンをマスクにして、p型InP層305、アンドープInGaAsPバッファ層304、アンドープInGaAsP活性層303、およびn型InGaAsP光ガイド層302にドライエッチングを施し、図17(c)に示すように、光変調器を形成すべき領域（図中Aで示す領域）の基板301表面を露出させる。

【0008】次に、図17(d)に示すように、厚さ0.3~0.5 $\mu$ m、波長1.44 $\mu$ mに相当するバンドギャップエネルギーを有するアンドープInGaAsP光吸収層306、厚さ0.1~0.3 $\mu$ m、波長( $\lambda$ )1.25 $\mu$ mのアンドープInGaAsPバッファ層307、および厚さ約3 $\mu$ mのp型InPクラッド層308をハイドライド気相エピタキシャル成長法（以下、VPE法と記す）を用いて順次形成し、さらに、p型InPクラッド層308上にレジスト膜321を成膜する。次に、通常の写真製版技術により、形成すべき半導体レーザの光の導波方向に沿って上記レジスト膜321をストライプ状にパターニングした後、このパターニングされたレジスト膜321をマスクにして、基板301上に成長した半導体層にドライエッチングを施して、これらを2 $\mu$ m幅のメサストライプ325に成形し、ついで、半導体レーザが形成されるべき領域上に成長したアンドープInGaAsP光吸収層306、アンドープInGaAsPバッファ層307、およびp型InPクラッド層308をエッチング除去し、さらに光変調器が形成されるべき領域と半導体レーザが形成されるべき領域との間に電気的アイソレーションのためのエッチング溝326を設けると、図17(e)に示す状態になる。

【0009】次に、図17(f)に示すように、メサスト

Fig. 16

ライブ部325の両側および上記電氣的アイソレーションのための溝326を埋め込むように、高抵抗のFeドープInP電流ブロック層311をVPE法により成長し、続いて、この上にアンドープInGaAsコンタクト層312をVPE法により成長する。

【0010】この後、コンタクト層312上に誘電体膜330を成膜し、この誘電体膜330の光変調器が形成されるべき領域と半導体レーザが形成されるべき領域のそれぞれにストライプ状の開口部を設ける。そして、この誘電体膜パターンをマスクとしてZnの選択拡散を行ない、図17(q)に示すように、FeドープInP電流ブロック層311、アンドープInGaAsコンタクト層312のメサストライプ部325上に形成された部分にその底部がメサストライプ部325に達するp型拡散領域313を形成する。この後、InGaAsコンタクト層312を、これが光変調器が形成されるべき領域と半導体レーザが形成されるべき領域のそれぞれにストライプ状に残るように選択エッチングを行うと、図17(h)に示す状態となる。

【0011】次に、上記工程により形成されたストライプ状のInGaAsコンタクト層312およびFeドープInP層311の上面を覆うように、SiN膜314を堆積形成し、通常の写真製版、エッチング技術により、図17(i)に示すように、該SiN膜314にコンタクト用の開口部314a、314bを形成する。

【0012】この後、次に、上記開口部314a、314bを埋め込むように上記SiN膜314上にp側電極形成用金属層を形成し、この金属層をパターニングして上記開口部314a、314bを埋め込んだ部分とその周囲部を残し、光変調器用p側電極315と半導体レーザ用p側電極316を形成し、さらに、基板301裏面に共通n側電極317を形成すると、図16に示す半導体レーザと光変調器が同一基板上にモノリシックに集積して形成された光変調器集積化半導体レーザが得られる。

【0013】次に動作について説明する。この光変調器集積化半導体レーザでは、半導体レーザにおける活性層303のエネルギーバンドギャップよりも、光変調器側のアンドープInGaAsP光吸収層306のエネルギーバンドギャップが大きくなっており、メサストライプ部内の半導体レーザ側の活性層303で発光した光は、光変調器側のアンドープInGaAsP光吸収層306内に伝搬し、このアンドープInGaAsP光吸収層306の劈開端面からレーザ光が出射する。この状態で光変調器部分に電圧を印加しない場合（無バイアス）には前端面方向に伝播する光は光吸収層306を通過して光吸収層306の劈開端面から外部に取り出される。この時、光吸収層306は上述のように、そのバンドギャップが活性層303のバンドギャップより大きいので、レーザ光は光吸収層306に吸収されることなく光変調器領域

を通過する。一方、光変調器に対して、n側電極317側をプラス、p側電極315側をマイナスとして逆バイアスを印加すると、光吸収層306に電界がかかり、フランツ-ケルディッシュ効果（Franz-Keldysh effect）により、図19に示すように光吸収層のバンドギャップが実効的に縮小し、伝播する光は光吸収層で吸収されるため端面から外には取り出されない。本従来例では、上記のように光変調器に逆バイアスを印加することにより、例えば5Gb/sの伝送特性の光信号を生成する。

【0014】ところで、図16の光変調器集積化半導体レーザでは、光変調器領域の光吸収層306と半導体レーザ領域の活性層303とを、別々のエピタキシャル成長工程によって形成した屈折率の異なる別々の半導体層で形成しており、また、光変調器部の層306、307、及び308を成長した際に、これらの層（306、307、及び308）は半導体レーザとの接合部分でその層厚が厚くなるため、LD部の活性層303及び光ガイド層302と光変調器領域の光吸収層306とが滑らかにつながらず、接続部で反射や散乱が起こり、光変調器と半導体レーザの光結合効率が悪くなるという問題点がある。

【0015】絶縁膜を用いた選択成長、即ち結晶成長を行なうウエハの表面の一部を絶縁膜で覆い、絶縁膜に覆われていない領域上のみ結晶成長を行なう場合には、絶縁膜に覆われた部分と絶縁膜に覆われていない部分との境界近傍の成長層厚が厚くなる現象、いわゆるエッジグロウスが発生するが、図17(d)に示すように、段差を有するウエハ上に結晶成長を行なう場合にも、凹部（ここでは光変調器となる領域A）上に成長する成長層の層厚が段差部の近傍で厚くなるエッジグロウスが発生する。

【0016】上述の光結合効率は、エッジグロウスの程度によって大きく影響され、また、ウエハの段差に起因するエッジグロウスの程度は、ウエハの段差が大きいほど大きくなる。本従来例の場合、ウエハの段差は、ガイド層302、活性層303、アンドープInGaAsPバッファ層304、及びp型InP層305の層厚を加算した大きさ、即ち1.3μm以上あり、エッジグロウスの程度もかなり大きなものとなる。また、エッジグロウスは、光結合効率の悪化のみならず、結晶成長終了後の表面に大きな段差ができ、リッジ形成等の後のプロセスにおいて障害になるという問題を招来する。

【0017】一方、半導体基板上の所定領域をSiO<sub>2</sub>膜やSiN膜等の絶縁膜で覆い、この状態で半導体層をMOCVD法によりエピタキシャル成長すると、半導体基板表面に直接供給される原料ガスは基板上で熱分解してそのままエピタキシャル成長し、絶縁膜上に供給される原料ガスはこの絶縁膜上では反応せず、該絶縁膜上に拡散して半導体基板が露出する部分に移動し、半導体基板上で熱分解し、エピタキシャル成長することが知られ



ている。そして、このエピタキシャル成長時、このような性質から基板上において、絶縁膜に近い位置と離れた位置では半導体層の成長速度に差が生じて得られる半導体層の層厚に変化が生じ、絶縁膜に近い位置に成長する半導体層はその層厚が厚くなり、離れた位置に成長する半導体層はその層厚が薄くなる。近年、このような基板上の所定領域に絶縁膜を形成した状態で半導体層をMOCVD法によりエピタキシャル成長すると半導体層に層厚変化が生じる性質を利用し、半導体レーザを構成する半導体層と光変調器を構成する半導体層とを同一のエピタキシャル成長工程によって一括的に形成する光変調器付きの半導体レーザの製造方法が提案されている。

【0018】図18は例えばエレクトロニクスレータズ、27巻、23号、2138～2140頁 (Electronics Letters, 7th November 1991 Vol.27 No.23, p.2138-2140) に記載された、上述の方法を用いて作製された従来の他の光変調器付き半導体レーザの構造、及びその製造方法を説明するための図であり、図18(b)中の符号A、Bで特定した拡大図は、それぞれ光変調器領域と半導体レーザ領域における半導体層の層構造を示している。

【0019】これらの図において、350aは半導体レーザ領域、350bは光変調器領域であり、351はn型InP基板である。352はn型InGaAsPガイド層、353はInGaAs/InGaAsP多重量子井戸層、355はp型InPクラッド層である。356はp型InGaAsPキャップ層である。また、357は回折格子であり、358は光変調器用p側電極、359は半導体レーザ用p側電極、360は変調器と半導体レーザに共通のn側電極である。

【0020】次に、この光変調器集積化半導体レーザの製造工程について説明する。まず、図18(a)に示すように、InP基板351の半導体レーザが形成されるべき所定領域の表面に回折格子357を形成し(図中手前側が光変調器を形成する領域となる。)、さらに、この回折格子357を挟むように、形成される半導体レーザの光の導波方向に沿ったストライプ状のSiO<sub>2</sub>膜370を形成する。SiO<sub>2</sub>膜370の寸法は、例えば200μm×400μm程度であり、SiO<sub>2</sub>膜370間の距離(回折格子357が形成されている領域の幅)は200μm程度である。

【0021】次に、図18(b)に示すように、基板351上に、n型InGaAsPガイド層352、InGaAs/InGaAsP多重量子井戸層353、及びp型InPクラッド層355をMOCVD法により順次結晶成長する。このとき、SiO<sub>2</sub>膜370で挟まれた領域(半導体レーザとなる領域)では原料種がマスク上を拡散して余分に供給されるため、SiO<sub>2</sub>膜370のない領域(変調器となる領域)よりも成長速度が速くなり、その結果、SiO<sub>2</sub>マスクを設けた領域の各層の層厚は

マスクのない領域に比べて1.5倍～2倍程度に厚くなる。即ち、図18(b)に示すように、半導体レーザ側のMQW層の井戸層381bの層厚は光変調器側のMQW層の井戸層381aの層厚よりも厚くなり、これによって、半導体レーザ側のMQW層のエネルギーバンドギャップよりも光変調器側のMQW層のエネルギーバンドギャップが大きくなる。

【0022】そして、この後、p型InPクラッド層355上にp型InGaAsPキャップ層356を形成し、このInGaAsPキャップ層356の半導体レーザと光変調器との間の部分をエッチング除去して分離し、分離した各キャップ層356上にそれぞれ光変調器用p側電極358、LD用p側電極359を形成し、さらに、基板351裏面に共通n側電極360を形成することにより、図18(c)に示す、半導体レーザと光変調器とが同一基板上にモノリシックに集積した光変調器付き半導体レーザが完成する。

【0023】次に動作について説明する。InGaAs/InGaAsP多重量子井戸層353は半導体レーザの領域では活性層として、また光変調器の領域では光吸収層として動作させる。半導体レーザの領域のp側、n側電極間に順バイアスを印加すると、InGaAs/InGaAsP多重量子井戸層353にキャリアが注入され、このMQW層の実効的バンドギャップと回折格子357によって決まる波長でレーザ発振が起こる。MQW層の実効的なバンドギャップはMQW層中の井戸層の層厚に依存し、井戸層厚が薄いほどバンドギャップは広くなる。先に説明した通り、MOCVDによる選択成長の際、井戸層厚は半導体レーザの領域では光変調器の領域よりも厚くなり、MQW層のE<sub>g1</sub>はDFBレーザ領域での値E<sub>g1</sub>が光変調領域での値E<sub>g2</sub>よりも小さくなる。光変調器を無バイアス状態とし、DFBレーザを順バイアスして連続発振させるとレーザ光(波長λ<sub>1</sub>=1.24/E<sub>g1</sub>)は光変調器領域ではE<sub>g2</sub>>E<sub>g1</sub>なので吸収されずに端面から取り出される。一方、光変調器に逆バイアスを印加するとMQW層の量子閉込シュタルク効果により、図20に示すように、励起子による吸収端が長波側にシフトして実効的なバンドギャップE<sub>g'2</sub>は、E<sub>g'2</sub><E<sub>g1</sub>と逆にDFBレーザ領域での値より小さくなるので、レーザ光は光変調器で吸収され消光する。従って、光変調器に加える電圧を変調することによりレーザ光をon/offすることができる。

【0024】また、GaAs基板上に作製されたAlGaAs系の高出力半導体レーザにおいては、レーザの発振端面において多くの表面準位が形成されている。この表面準位の影響により端面近傍はレーザ中央部と比較して、等価的にエネルギーバンドギャップの減少が生じている。従って、レーザ光の波長に対しては端面近傍領域は吸収領域となり、光出力増加に伴って上記吸収領域での局所的発熱が大きくなる。エネルギーバンドギャップは温



度の上昇に伴って縮小するため、レーザ光の吸収はさらに増大し、温度上昇を引き起こすという正帰還がかかり、ついに熔融破壊に至る。この現象を光学損傷といい、AlGaAs系の高出力半導体レーザにおいて深刻な問題となっている。窓構造はレーザ発振端面近傍領域にレーザの発振波長よりもエネルギーバンドギャップの大きい領域を設けることで、端面近傍での光吸収を減少させ、上記光学損傷を防止する目的で設けられている。

【0025】例えば図8は、ジャパニーズ ジャーナル オブ アプライド フィジックス、30巻、L904 ~L906頁 (Japanese Journal of Applied Physics, Vol.30, (1991), L904 ~L906) に記載されたレーザ発振端面に窓構造を有する高出力半導体レーザのレーザ端面近傍の構造を示す斜視図である。図において、401はp型GaAs基板、402はn型GaAs電流ブロック層、403はp型Al<sub>0.33</sub>Ga<sub>0.67</sub>Asクラッド層、404はp型Al<sub>0.08</sub>Ga<sub>0.92</sub>As活性層、405はn型Al<sub>0.33</sub>Ga<sub>0.67</sub>Asクラッド層、406はn型GaAsコンタクト層である。また407は劈開により形成された(110)端面、408は劈開端面407上に形成されたアンドープAlGaAs窓層である。

【0026】以下、製造工程を説明する。まず、通常のウェットエッチングとLPE法を組み合わせて半導体レーザ構造を作製する。すなわち、p型GaAs基板401上にn型GaAs電流ブロック層402を結晶成長した後、エッチングにより素子中央部に電流ブロック層402を貫通し基板401に達するストライプ状のV溝を形成する。この後、ウェハ上にp型AlGaAsクラッド層403、p型AlGaAs活性層404、n型GaAsクラッド層405、及びn型GaAsコンタクト層406を順次結晶成長する。次に、ウェハを所望の厚みにまで研磨した後、共振器長に相当する幅のバー状に劈開する。典型的な高出力半導体レーザでは共振器長は300~600μmである。

【0027】次に劈開して形成したレーザ共振器端面407上に、発振レーザ光よりもエネルギーバンドギャップの大きい材料をMOCVD法により成長する。本従来例の場合、レーザ発振波長は830nmであり、エネルギーに換算して約1.49eVであるので、窓層として約1.93eVのエネルギーバンドギャップを有するアンドープAl<sub>0.4</sub>Ga<sub>0.6</sub>As層408を用いている。この後、電極形成を行い、最後に窓層端面のコーティングを行った後、チップ分離を行なうことによってレーザチップが完成する。

【0028】上記文献では、このような窓構造を採用することにより光学損傷が抑制され、高出力化と長寿命化を図ることができたと報告されている。

【0029】

【発明が解決しようとする課題】図18に示した従来の光変調器付き半導体レーザでは、半導体レーザの活性層

と光変調器の活性層(すなわち、光吸収層)とを同じ工程によって形成されたひと続きの半導体層をもって構成している。図16に示した従来の光変調器付き半導体レーザに比べて、半導体レーザで発生したレーザ光を変調器側に効率良く伝搬することができる。しかしながら、この図18の光変調器付き半導体レーザの作製に用いられる結晶成長方法、即ち、半導体基板上の絶縁膜に近い位置と離れた位置でエピタキシャル成長に寄与する原料ガスの存在量が異なることを利用し、成長する半導体層に積極的に層厚差を生じさせ、同一の半導体層内にエネルギーバンドギャップが大きな部分と小さな部分を形成する方法では、成長条件に厳密さが要求され、再現性に欠けるという問題点があった。さらに、この方法においては、実際の素子の特性を左右する半導体レーザの活性層、及び光変調器の光吸収層の結晶成長に絶縁膜マスクを利用した選択成長を用いるため、その結晶品質が、選択マスクを用いない通常のエピタキシャル成長時の結晶の品質と比較して良くないということが考えられる。すなわち、光変調器付き半導体レーザを動作させる際に、素子の信頼性、あるいは寿命に関して良くないという問題点があった。

【0030】また、図21に示した従来の窓構造半導体レーザでは、半導体レーザの共振器長に相当する幅のバー状に劈開した後、さらにエピタキシャル成長を行なうという複雑な工程が必要であるという問題点があった。さらに、劈開端面へのエピタキシャル成長では、成長される半導体層(窓層)は、劈開状態に依ってその結晶品質が大きく左右されるため、再現性に乏しいという問題点があった。

【0031】この発明は上記のような問題点を解消するためになされたもので、半導体レーザの活性層と光変調器の光吸収層とを、通常のエピタキシャル成長工程により一括的に成長し形成することができる、素子の信頼性に優れ、素子寿命の長い光変調器付きの半導体レーザを得ることを目的とする。

【0032】また、この発明は、劈開端面へのエピタキシャル成長という煩雑で再現性の乏しい工程を不要とでき、再現性良く、かつ、容易に作製できる窓構造の半導体レーザを得ることを目的とする。

【0033】

【課題を解決するための手段】この発明に係る半導体レーザは、半導体基板上の第1の領域に配置された半導体レーザと、上記半導体基板上の、上記第1の領域に隣接する第2の領域に配置された、上記半導体レーザで発生したレーザ光を透過させ、あるいは吸収して変調光を出力する電界吸収型の光変調器とを有する光変調器付きの半導体レーザにおいて、上記基板上の上記第1、第2の領域に連続して配置された、量子井戸構造層を含む半導体積層構造と、上記第2の領域に配置された上記半導体積層構造上に配置された、上記半導体基板の格子定数よ

りも小さい格子定数を有する半導体からなる格子不整合層とを備えたものである。

【0034】また、この発明に係る半導体レーザは、半導体基板上の第1の領域に配置された半導体レーザと、上記半導体基板上の、上記第1の領域に隣接する第2の領域に配置された、上記半導体レーザで発生したレーザ光を透過させ、あるいは吸収して変調光を出力する電界吸収型の光変調器とを有する光変調器付きの半導体レーザにおいて、上記基板上の上記第1、第2の領域に連続して配置された、量子井戸構造層を含む半導体積層構造と、上記第1の領域に配置された上記半導体積層構造上に配置された、上記半導体基板の格子定数よりも大きい格子定数を有する半導体からなる格子不整合層とを備えたものである。

【0035】また、この発明に係る半導体レーザは、半導体基板上の第1の領域に配置された半導体レーザと、上記半導体基板上の、上記第1の領域に隣接する第2の領域に配置された、上記半導体レーザで発生したレーザ光を透過させ、あるいは吸収して変調光を出力する電界吸収型の光変調器とを有する光変調器付きの半導体レーザにおいて、上記基板上の上記第1、第2の領域に連続して配置された、量子井戸構造層を含む半導体積層構造と、上記第1、及び第2の領域に配置された上記半導体積層構造上に連続して配置された、上記半導体基板の格子定数よりも小さい格子定数を有する半導体からなる格子不整合層とを備え、上記量子井戸構造層を構成するウェル層の上端部から上記半導体層の下端部までの厚みが、上記第1の領域では $t_1$ であり、上記第2の領域では $t_2$ であって、 $t_1 > t_2$ の関係を満たして形成されているものである。

【0036】また、この発明に係る半導体レーザは、半導体基板上の第1の領域に配置された半導体レーザと、上記半導体基板上の、上記第1の領域に隣接する第2の領域に配置された、上記半導体レーザで発生したレーザ光を透過させ、あるいは吸収して変調光を出力する電界吸収型の光変調器とを有する光変調器付きの半導体レーザにおいて、上記基板上の上記第1、第2の領域に連続して配置された、量子井戸構造層を含む半導体積層構造と、上記第1、及び第2の領域に配置された上記半導体積層構造上に連続して配置された、上記半導体基板の格子定数よりも大きい格子定数を有する半導体からなる格子不整合層とを備え、上記量子井戸構造層を構成するウェル層の上端部から上記半導体層の下端部までの厚みが、上記第1の領域では $t_1$ であり、上記第2の領域では $t_2$ であって、 $t_1 < t_2$ の関係を満たして形成されているものである。

【0037】また、この発明に係る半導体レーザの製造方法は、半導体基板上の第1の領域に配置された半導体レーザと、上記半導体基板上の、上記第1の領域に隣接する第2の領域に配置された、上記半導体レーザで発生

したレーザ光を透過させ、あるいは吸収して変調光を出力する電界吸収型の光変調器とを有する光変調器付きの半導体レーザを製造する方法において、半導体基板上の上記第1、第2の領域に、該2つの領域に連続して、量子井戸構造層を含む半導体積層構造を形成する工程と、上記第2の領域に形成された半導体積層構造上に上記半導体基板の格子定数よりも小さい格子定数を有する半導体からなる格子不整合層を形成する工程とを含むものである。

10 【0038】また、この発明に係る半導体レーザの製造方法は、半導体基板上の第1の領域に配置された半導体レーザと、上記半導体基板上の、上記第1の領域に隣接する第2の領域に配置された、上記半導体レーザで発生したレーザ光を透過させ、あるいは吸収して変調光を出力する電界吸収型の光変調器とを有する光変調器付きの半導体レーザを製造する方法において、半導体基板上の上記第1、第2の領域に、該2つの領域に連続して、量子井戸構造層を含む半導体積層構造を形成する工程と、上記第1の領域に形成された半導体積層構造上に上記半導体基板の格子定数よりも大きい格子定数を有する半導体からなる格子不整合層を形成する工程とを含むものである。

20 【0039】また、この発明にかかる半導体レーザは、半導体基板上に配置された、量子井戸構造の活性層を含む半導体積層構造と、該半導体積層構造上の所定部分に配置された上記半導体基板の格子定数よりも小さい格子定数を有する半導体からなる格子不整合層と、上記格子不整合層が形成されている領域の直下の上記活性層部分を含んで形成された出射端面とを備えたものである。

30 【0040】また、この発明にかかる半導体レーザは、半導体基板上に配置された、量子井戸構造の活性層を含む半導体積層構造と、該半導体積層構造上の所定部分に配置された上記半導体基板の格子定数よりも大きい格子定数を有する半導体からなる格子不整合層と、上記格子不整合層が形成されていない領域の直下の上記活性層部分を含んで形成された出射端面とを備えたものである。

【0041】

【作用】この発明においては、一括してエピタキシャル成長された同一の量子井戸構造層の上層に格子不整合層を配置することによって該量子井戸構造層のバンドギャップを部分的に異ならしめ、これによって半導体レーザの活性層と光変調器の光吸収層とを形成しているの、半導体レーザの活性層と光変調器の光吸収層とを同一の、かつ均一な厚厚の半導体層でもって構成することができ、半導体レーザで発光するレーザ光の光変調器への伝達効率を従来に比べて大きく向上することができ、また、上記半導体レーザの活性層、及び光変調器の光吸収層は、選択成長マスク等を用いた成長ではなく、通常の1回目のエピタキシャル成長工程により形成されたものである。 50

の活性層と光変調器の光吸収層の半導体層の品質を非常に優れたものとでき、高信頼性で、かつ、長寿命の光変調器付き半導体レーザが得られる。

【0042】また、この発明においては、量子井戸活性層の上層に格子不整合層を配置することによって該量子井戸活性層のバンドギャップを部分的に異ならしめ、これによって出射端面近傍の活性層のバンドギャップがレーザ内部の活性層のバンドギャップよりも広い窓構造を構成しているため、その作製工程において、劈開端面上へのエピタキシャル成長といった複雑な工程が不要であり、再現性、制御性よく窓構造付きの半導体レーザを作製できる。

【0043】

【実施例】実施例1. 図1はこの発明の第1の実施例による光変調器付き半導体レーザの構造を示す一部切り欠き斜視図であり、図2は図1に示す半導体レーザの主要部の共振器長方向に沿った断面図である。図において、101はn型InP基板である。メサストライプ部1000において、n型InP下側クラッド層102はn型InP基板101上に配置され、アンドープInGaAs/InGaAsP多重量子井戸層103a、103bはn型InPクラッド層102上に配置される。また、p型InP第1上側クラッド層104はアンドープ多重量子井戸層103a、103b上に配置され、p型GaInP格子不整合層105はp型InP上側クラッド層104上の所定の領域にストライプ状に一定の長さだけ配置される。また、p型InP第2上側クラッド層106aはp型InP第1上側クラッド層104上に配置され、p型InP第2上側クラッド層106bはp型GaInP格子不整合層105上に配置される。p型InGaAsP光ガイド層107はp型第2上側クラッド層106a上に回折格子に成形されて配置されており、p型InPキャップ層108aは回折格子に成形されたp型InGaAsP光ガイド層107を埋め込むようにp型第2上側クラッド層106a上に配置され、p型InPキャップ層108bはp型InP上側クラッド層106b上に配置される。FeドープInPブロック層109はメサストライプ部1000の両脇に配置される。またFeドープInPブロック層109の上面の一部、及びメサストライプ部1000の上面にはストライプ状のp型InGaAsコンタクト層110a、110bが配置される。SiN膜111はp型InGaAsコンタクト層110a、110bの境界部分（結合部分）とFeドープInPブロック層109の上面を覆うように配置される。半導体レーザ用p側電極112aはその一部がp型InGaAsコンタクト層110aの上面に接するようにSiN膜111上に設けられ、光変調器用p側電流112bはその一部がp型InGaAsコンタクト層110bの上面に接するようにSiN膜111上に設けられる。また共通n側電極112cはn型InP基板10

1の裏面に設けられる。

【0044】ここで、メサストライプ部1000内のp型GaInP格子不整合層105を含まない部分、すなわち、n型InP下側クラッド層102、アンドープ多重量子井戸層（活性層）103a、p型InP第1上側クラッド層104、p型InP第2上側クラッド層106a、回折格子に成形されたp型InGaAsP光ガイド層107、及びp型InPキャップ層108aが半導体レーザの能動層を含む積層構造を構成し、該積層構造とp型InGaAsコンタクト層110a、p型電極112aおよびn型電極112cとにより半導体レーザが構成される。また、メサストライプ部1000内のp型GaInP格子不整合層105を含む部分、すなわち、n型InP下側クラッド層102、アンドープ多重量子井戸層（光吸収層）103b、p型InP第1上側クラッド層104、p型GaInP格子不整合層105、p型InP第2上側クラッド層106b、及びp型InPキャップ層108bが光変調器の能動層を含む積層構造を構成し、該積層構造とp型InGaAsコンタクト層110b、p型電極112bおよびn型電極112cとにより光変調器が構成されている。図3、及び図4は、図1に示す光変調器付き半導体レーザの製造工程を示す工程別斜視図である。

【0045】以下、本実施例による光変調器付き半導体レーザの製造工程を図3及び図4に沿って説明し、併せてその内部構造を詳しく説明する。まず、図3(a)に示すように、n型InP基板101上に、層厚2μmのn型InP下側クラッド層102、アンドープ多重量子井戸活性層103、層厚0.03μmのp型InP第1上側クラッド層104を、例えば有機金属気相成長法（以下、MOCVD法と称す）により、順次エピタキシャル成長する。ここで、多重量子井戸層103は、波長1.32μmに相当する組成を有するInGaAsPからなる層厚7nmのバリア層と、層厚3nmのInGaAsウェル層を交互に複数層積層した構成とし、ウェル数は5とする。

【0046】次にp型InP第1上側クラッド層104上に層厚6nmのp型Ga0.37In0.63P格子不整合層105をエピタキシャル成長した後、通常の写真製版技術、及びエッチング技術を用いてGaInP格子不整合層105をパターニングし、図3(b)に示すように、ストライプ状に成形する。ここで、格子不整合層105のストライプ幅は約1.2μmとする。

【0047】図5は、例えば、アブライドフィジックスレターズ、59巻、15号、1875～1877頁(App. 1. Phys. Lett., Vol.59, No.15, 7 October 1991, p.1875～1877)に記載された、単一量子井戸層のエネルギーバンド構造を部分的に変調する方法を示す図である。

【0048】図5(a)において、50はGaAs基板であり、該基板50上には、層厚18nmのAl0.3Ga

0.7 Ås 下側クラッド層51、層厚6 nmのGaAs単一量子井戸層52、層厚18 nmのAl<sub>0.3</sub>Ga<sub>0.7</sub>As上側クラッド層53、層厚3 nmのGaAs層54、層厚6 nmのIn<sub>0.35</sub>Ga<sub>0.65</sub>As格子不整合層55、及び層厚20 nmのGaAs層56が順次エピタキシャル成長されている。GaAs層54、InGaAs格子不整合層55、及びGaAs層56は気相エッチング技術により幅Wが120 nmの細線形状に成形されている。図5(b)は図5(a)に示す層構造におけるGaAs単一量子井戸層52のエネルギーバンド構造である。

【0049】この先行技術では、GaAs単一量子井戸層上にAlGaAs層を介してGaAsとは格子定数の異なるInGaAs格子不整合層を配置することにより、単一量子井戸層にストレスを印加し、これにより単一量子井戸層のエネルギーバンド構造を部分的に変調している。即ち、In<sub>0.35</sub>Ga<sub>0.65</sub>Asの格子定数はGaAsの格子定数よりも約2.6%大きく、その直上に格子不整合層54が配置されたGaAs単一量子井戸層52には引っ張り歪がかかる。その結果、図5(a)に示す層構造では、図5(b)に示すように、GaAs単一量子井戸層52は、その直上にごく薄いInGaAs格子不整合層54が配置された領域のエネルギーバンド端が、エネルギーギャップが小さくなるように変調される。逆に、格子不整合層として井戸層の格子定数よりも小さい格子定数を有する半導体層を用いた場合には、井戸層は圧縮歪を受け、井戸層のエネルギーバンド端は、エネルギーギャップが大きくなるように変調される。

【0050】このような技術を用いて、半導体ウェハ面内に高次の量子閉じ込めを実現しようとする研究が行なわれ、例えば、上記文献では、多数のストライプ状のInGaAs格子不整合層を単一量子井戸構造の直上に形成することにより、GaAs単一量子井戸層中に量子細線構造を形成している。また、格子不整合層の形状を円形（あるいは矩形）とすれば、量子井戸構造中に量子箱構造を形成することもできる。

【0051】本実施例において、Ga<sub>0.37</sub>In<sub>0.63</sub>P格子不整合層105の格子定数はInP基板101の格子定数よりも約2.6%小さく、このGaInP格子不整合層105によりその直下の多重量子井戸層103は圧縮歪を受ける。この結果、この歪を受けた領域の多重量子井戸層103のエネルギーバンド構造は変調を受け、そのエネルギーバンドギャップは、歪を受けていない領域の多重量子井戸層103に比べて広がることになる。

【0052】このように、アンドープ多重量子井戸層103は、直上にストライプ状のp型GaInP格子不整合層105がある領域（光変調器領域）と、ない領域（半導体レーザ領域）とではエネルギーバンドギャップの大きさが異なるものとなる。以下の説明では、半導体レーザ領域の量子井戸層103を量子井戸活性層103aと、光変調器領域の量子井戸層103を量子井戸光吸収

層103bと表現することとする。

【0053】ところで、この方法によれば、格子不整合層直下の量子井戸層はエネルギーバンド構造が変調されるが、図5(b)のエネルギーバンド構造に示すように、格子不整合層の端部ではエッジ効果のためにエネルギーバンドギャップが逆方向に変調されてしまう。このエッジ効果は、量子井戸層内に引っ張り歪みを印加することによって形成したエネルギーバンドギャップの狭い領域に、より効果的に電子・正孔対を閉じ込めることを可能とするので、上記文献のように量子細線、又は量子箱構造を実現する上では非常に有効である。しかし、本実施例においてこのエッジ効果が生じて量子井戸層のエネルギーバンドギャップが逆方向、即ちバンドギャップが小さくなるように変調されると、この領域で半導体レーザで発生した光が吸収され、光伝導効率が悪くなってしまう。従って何らかの方法でこのエッジ効果を抑えることが望ましい。

【0054】図6は、InGaAs格子不整合層とGaAs単一量子井戸層との間に配置される層の層厚と、GaAs単一量子井戸層のエネルギーバンド構造の変調との関係を示す図であり、これは例えばガリウムアセナイド アンド リレイテッドコンパウンド、インスティテュート オブ フィジックス カンファレンス、シリーズNo. 129, 217頁 (GaAs and Related Compound, Institute of Physics Conference, series No.129, pp.217, (1992)) に掲載されたものである。

【0055】図6(a)において、60はAlGaAs層であり、該AlGaAs層上に、層厚6 nmの第3のGaAs単一量子井戸層(QW3)61、層厚40 nmのAlGaAs層62、層厚7 nmの第2のGaAs単一量子井戸層(QW2)63、層厚20 nmのAlGaAs層64、層厚12 nmの第1のGaAs単一量子井戸層(QW1)65、及び層厚20 nmのAlGaAs層66が順次エピタキシャル成長されており、さらに、AlGaAs層66上に、極めて薄いGaAs層67、層厚6 nmのInGaAs格子不整合層68、及びGaAsキャップ層69が順次エピタキシャル成長されている。GaAs層67、格子不整合層68、及びGaAs層69は気相エッチングによって直径120 nmのドット状に成形されている。

【0056】また、図6(b)は第1のGaAs単一量子井戸層(QW1)65のバンド端変調の様子を示す図、図6(c)は第2のGaAs単一量子井戸層(QW2)63のバンド端変調の様子を示す図、図6(d)は第3のGaAs単一量子井戸層(QW3)61のバンド端変調の様子を示す図である。

【0057】第1の量子井戸層(QW1)65と格子不整合層68との間に配置される層の層厚d1は約20 nmであり、このとき第1の量子井戸層(QW1)65が受けるコンダクションバンドのエネルギー変化量は13 m

10

20

30

40

50

eVと大きい、エッジ効果が顕著である。一方、第2の量子井戸層(QW2)63と格子不整合層68との間に配置される層の層厚d2は約52nmであり、このとき第2の量子井戸層(QW2)63が受けるコンダクションバンドのエネルギー変化量は7meVであり、エッジ効果は殆どみられない。また、第3の量子井戸層(QW3)61と格子不整合層68との間に配置される層の層厚d3は約99nmであり、このとき第3の量子井戸層(QW2)61が受けるコンダクションバンドのエネルギー変化量は1meVである。図6からわかるように、量子井戸層からの距離をある程度広くする、具体的には0.03μm以上とすれば、エッジ効果を実用上支障のない程度に低減することができる。

【0058】一方、この距離をあまり大きくしすぎると、格子不整合層によるストレス印加の影響が量子井戸層に及ばなくなり、光変調器の吸収層と半導体レーザの活性層との間のエネルギーバンドギャップ差を十分にとることができず、光変調器付き半導体レーザとしての機能を果たさなくなる。従って、上述の距離は、格子不整合層の効果によって量子井戸層に十分なエネルギーバンドギャップ差が形成される距離以下とする必要がある。本実施例において、多重量子井戸活性層103aと多重量子井戸光吸収層となる領域103bとの間には最低5meV程度のエネルギーギャップ差があることが望ましい。格子不整合層による量子井戸層のエネルギー変化量がほぼ格子不整合層と量子井戸層との間の距離に逆比例すると考えれば、図6に示されたデータから、5meV程度のエネルギーギャップ差を得ることができる格子不整合層と量子井戸層との間の距離は0.08μm程度であると計算できる。

【0059】本実施例では、第1上側クラッド層104の層厚を上述のように0.03μmとしている。従って、多重量子井戸構造103を構成する5つのウェル層のうち最上に配置されるウェル層の上端から格子不整合層までの距離は、第1上側クラッド層104の層厚0.03μmと、第1上側クラッド層104と上記最上に配置されるウェル層との間のバリア層の層厚7nmとを加算した値、即ち0.037μmであり、また、多重量子井戸構造103を構成する5つのウェル層のうち最下に配置されるウェル層の上端から格子不整合層までの距離は、この0.037μmにさらに4層のウェル層と4層のバリア層の層厚の合計値40nmを加算した値、即ち0.077μmであり、いずれも上述した許容範囲に含まれる。

【0060】次に、ウェハ上に層厚0.2μmのp型InP第2上側クラッド層106、及び波長1.15μmに相当する組成を有するInGaAsPからなる層厚45nmのp型光ガイド層107を順次エビタキシャル成長した後、通常の写真製版技術、エッチング技術を用いて光ガイド層107をパターンニングし、図3(c)に示す

ように、GaInP格子不整合層105の形成されていない領域にのみ、200nmのピッチを有する回折格子を形成する。さらに、図3(d)に示すように、ウェハ上に層厚200nmのp型InPキャップ層108をエビタキシャル成長する。

【0061】次に、これらn型InP下側クラッド層102、アンドープInGaAs/InGaAsP多重量子井戸層103、p型InP上側クラッド層104、p型InP上側クラッド層106、回折格子に形成されたp型InGaAsP光ガイド層107、及びp型InPキャップ層108を、通常の写真製版技術、及びエッチング技術を用いて成形し、図4(a)に示すように、ストライプ状のp型GaInP格子不整合層105の長手方向に沿って延びるメサストライプ部1000を形成する。メサストライプ部1000の幅は約1.3μmとする。即ち、ストライプ状のp型GaInP格子不整合層105の幅はメサストライプ部1000の幅よりも若干狭くなっている。

【0062】上述のようにメサストライプ部1000を形成した後、適当な成長方法を用いて、図4(b)に示すように、メサストライプ部1000の両脇に選択的にFeドープInPブロック層109をエビタキシャル成長してメサストライプ部1000を埋め込み、次いで、メサストライプ部1000上、及びFeドープInPブロック層109上に層厚0.5μmのp型InGaAsコンタクト層110をエビタキシャル成長する。次に、通常の写真製版技術、エッチング技術を用いて、p型InGaAsコンタクト層110を、図4(c)に示すように、メサストライプ部1000に沿ったストライプ形状にパターンニングし、p型InGaAsコンタクト層110a、110bを形成する。

【0063】次に、SiN膜をp型InGaAsコンタクト層110a、110bとFeドープInPブロック層109の上面に堆積形成した後、通常の写真製版技術、及びエッチング技術を用いてこれを成形し、図4(d)に示すように、p型InGaAsコンタクト層110a、110bの表面をそれぞれ個別に露出させる開口部を有するSiN膜パターン111を形成する。

【0064】そしてこの後、該SiN膜パターン111上に、例えばAu-Zn/Auからなる金属膜を堆積形成し、これを所望の形状にパターンニングして半導体レーザ用のp側電極112aと光変調器用のp側電極112bとを互いに分離して形成する工程、及び、n型InP基板101の裏面に、例えばAu-Ge/Auからなる金属膜を堆積して共通n側電極を形成する工程等を経て、図1に示す光変調器付き半導体レーザが完成する。

【0065】次に動作について説明する。半導体レーザ用p側電極112a、n側電極112c間に順バイアスを印加すると、InGaAs/InGaAsP多重量子井戸層活性層103aにキャリアが注入され、この多重

量子井戸活性層103aの実効的バンドギャップと光ガイド層107により形成される回折格子とによって決まる波長でレーザ発振が起こる。多重量子井戸活性層103aで発生した光は、光変調器側の光吸収層103b内に伝搬し、この多重量子井戸光吸収層103bの劈開端面からレーザ光が射出する。この時、光吸収層103bのバンドギャップは上述のように、活性層103aのバンドギャップより大きいので、光変調器部分に電圧を印加しない場合(無バイアス)には、レーザ光は光吸収層103bに吸収されることなく光変調器領域を通過し、光吸収層103bの劈開端面から取り出される。一方、光変調器に対して、n側電極112c側をプラス、p側電極112b側をマイナスとして逆バイアスを印加すると、光吸収層103bに電界がかかり、多重量子井戸層の量子閉込シュタルク効果により、励起子による吸収端が長波側にシフトして光吸収層103bの実効的なバンドギャップは逆にDFBレーザ領域での値より小さくなるので、レーザ光は光変調器で吸収され消光する。本実施例では、上記のように光変調器に逆バイアスを印加することにより、例えば5Gb/sの伝送特性の光信号を生成する。

【0066】本実施例の光変調器付き半導体レーザでは、一括してエピタキシャル成長された同一の量子井戸構造層の上層に格子不整合層を配置することによって該量子井戸構造層のバンドギャップを部分的に異ならしめ、これによって半導体レーザの活性層と光変調器の光吸収層とを形成しているもので、半導体レーザの活性層と光変調器の光吸収層とを同一の、かつ均一な層厚の半導体層でもって構成することができ、半導体レーザで発光するレーザ光の光変調器への伝達効率を従来に比べて大きく向上することができる。また、上記半導体レーザの活性層、及び光変調器の光吸収層は、選択成長マスク等を用いた成長ではなく、通常の1回目のエピタキシャル成長工程により形成されたものであるもので、素子の特性に大きく影響する半導体レーザの活性層と光変調器の光吸収層の半導体層の品質を非常に優れたものとでき、素子の信頼性に優れ、長時間使用に対する寿命に関しても優れた素子を構成できる。

【0067】なお、上記実施例では、格子不整合層105は、第1上側クラッド層104上全面に成長した後、写真製版技術、及びエッチング技術をもちいてストライプ状に成形するようにしているが、バターンニングされた絶縁膜をマスクとして用いる選択成長技術を用いてストライプ状の格子不整合層を形成するようにしてもよい。即ち、第1上側クラッド層104上に絶縁膜を成膜し、この絶縁膜を、格子不整合層を形成すべき領域にストライプ状の開口を有する形状にバターンニングした後、このバターンニングされた絶縁膜を選択成長のマスクとして用いて、格子不整合層を結晶成長し、その後、絶縁膜を除去することにより、図3(b)に示すようなストライ

プ状の格子不整合層105を形成することができる。また、上記実施例では、量子井戸構造層103として多重量子井戸構造層を用いたものについて示したが、これは単一量子井戸構造層であってもよい。

【0068】実施例2. 図7はこの発明の第2の実施例による光変調器付き半導体レーザの構造を示す一部切り欠き斜視図であり、図8は図7に示す半導体レーザの主要部の共振器長方向に沿った断面図である。図において、121はn型InP基板である。メサストライプ部2000において、層厚2μmのn型InP下側クラッド層122はn型InP基板121上に配置され、アンドープInGaAs/InGaAsP多重量子井戸活性層123a、123bはn型InPクラッド層122上に配置されている。多重量子井戸の構造は上記第1の実施例と同じである。即ち、波長1.32μmに相当する組成を有するInGaAsPからなる層厚7nmのバリア層と層厚3nmのInGaAsウェル層を交互に複数層積層した構成とし、ウェル数は5である。層厚0.03μmのp型InP第1上側クラッド層124はアンドープ多重量子井戸活性層123a、123b上に配置され、層厚6nmのp型InAs0.8P0.2格子不整合層125はp型InP上側クラッド層104上の所定の領域にストライプ状に一定の長さだけ配置される。層厚0.2μmのp型InP第2上側クラッド層126a、及び126bはそれぞれp型InAsP格子不整合層125上、及びp型InP第1上側クラッド層124上に配置される。層厚45nmのp型InGaAsP光ガイド層127はp型第2上側クラッド層126a上に回折格子に成形されて配置されており、層厚200nmのp型InPキャップ層128aは回折格子に成形されたp型InGaAsP光ガイド層127を埋め込むようにp型第2上側クラッド層126a上に配置され、p型InPキャップ層128bはp型InP上側クラッド層126b上に配置されている。FeドープInPブロック層129はメサストライプ部2000の両脇に配置されている。またFeドープInPブロック層129の上面の一部、及びメサストライプ部2000の上面には層厚0.5μmのストライプ状のp型InGaAsコンタクト層130a、130bが配置されている。SiN膜131はp型InGaAsコンタクト層130a、130bの境界部分(結合部分)とFeドープInPブロック層129の上面を覆うように配置されている。半導体レーザ用p側電極132aはその一部がp型InGaAsコンタクト層130aの上面に接するようにSiN膜131上に設けられ、光変調器用p側電極132bはその一部がp型InGaAsコンタクト層130bの上面に接するようにSiN膜131上に設けられている。また共通n側電極132cはn型InP基板121の裏面に設けられている。

【0069】ここで、メサストライプ部2000内のp



型InAsP格子不整合層125を含む部分、すなわち、n型InP下側クラッド層122、アンドープ多重量子井戸層(活性層)123a、p型InP第1上側クラッド層124、p型InAsP格子不整合層125、p型InP第2上側クラッド層126a、回折格子に成形されたp型InGaAsP光ガイド層127、及びp型InPキャップ層128aが半導体レーザの能動層を含む積層構造を構成し、該積層構造とp型InGaAsコンタクト層130a、p型電極132aおよびn型電極132cとにより半導体レーザが構成される。また、メサストライプ部2000内のp型GaInP格子不整合層125を含まない部分、すなわち、n型InP下側クラッド層122、アンドープ多重量子井戸層(光吸収層)123b、p型InP第1上側クラッド層124、p型InP第2上側クラッド層126b、及びp型InPキャップ層128bが光変調器の能動層を含む積層構造を構成し、該積層構造とp型InGaAsコンタクト層130b、p型電極132bおよびn型電極132cとにより光変調器が構成されている。

【0070】本実施例において、InAs0.8P0.2格子不整合層125の格子定数はInP基板121の格子定数よりも約2.6%大きく、このInAsP格子不整合層125によりその直下の多重量子井戸層123は引っ張り歪を受ける。この結果、この歪を受けた領域の多重量子井戸層123のエネルギーバンド構造は変調を受け、そのエネルギーバンドギャップは、歪を受けていない領域の多重量子井戸層123に比べて小さくなる。即ち、光吸収層123bのバンドギャップは活性層123aのバンドギャップよりも大きくなることになる。従って、光変調器部分に電圧を印加しない場合(無バイアス)には、レーザ光は光吸収層123bに吸収されことなく光変調器領域を通過し、光吸収層123bの劈開端面から取り出され、一方、光変調器に対して、n側電極132c側をプラス、p側電極132b側をマイナスとして逆バイアスを印加した場合には、光吸収層123bに電界がかかり、多重量子井戸層の量子閉込シュタルク効果により、励起子による吸収端が長波長側にシフトして光吸収層123bの実効的なバンドギャップはレーザ領域での値より小さくなるので、レーザ光は光変調器で吸収され消光する。

【0071】本第2の実施例も、上記第1の実施例と同様、一括してエピタキシャル成長された同一の量子井戸構造層の上層に格子不整合層を配置することによって該量子井戸構造層のバンドギャップを部分的に異ならしめ、これによって半導体レーザの活性層と光変調器の光吸収層とを形成しているの、半導体レーザの活性層と光変調器の光吸収層とを同一の、かつ均一な層厚の半導体層でもって構成することができ、半導体レーザで発光するレーザ光の光変調器への伝達効率を従来に比べて大きく向上することができる。また、上記第1の実施例と

同様、上記半導体レーザの活性層、及び光変調器の光吸収層は、選択成長マスク等を用いた成長ではなく、通常の1回目のエピタキシャル成長工程により形成されたものであるの、素子の特性に大きく影響する半導体レーザの活性層と光変調器の光吸収層の半導体層の品質を非常に優れたものとでき、素子の信頼性に優れ、長時間使用に対する寿命に関しても優れた素子を構成できる。なお、上記実施例では、量子井戸構造層123として多重量子井戸構造層を用いたものについて示したが、これは単一量子井戸構造層であってもよい。

【0072】実施例3. 図9は本発明の第3の実施例による光変調器付き半導体レーザの構造を示す一部切り欠き斜視図である。図において、151はn型InP基板である。基板151の一部には回折格子157が形成されている。メサストライプ部3000において、n型InP下側クラッド層152はn型InP基板151上に配置され、アンドープInGaAs/InGaAsP多重量子井戸層153a、153bはn型InPクラッド層152上に配置される。また、p型InP第1上側クラッド層154はアンドープ多重量子井戸層153a、153b上に配置され、p型GaInP格子不整合層155はp型InP上側クラッド層154上の所定の領域にストライプ状に一定の長さだけ配置される。また、p型InP第2上側クラッド層156aはp型InP第1上側クラッド層154上に配置され、p型InP第2上側クラッド層156bはp型GaInP格子不整合層155上に配置される。p型InPキャップ層158aはp型第2上側クラッド層156a上に配置され、p型InPキャップ層158bはp型InP上側クラッド層156b上に配置される。FeドープInPブロック層159はメサストライプ部3000の両脇に配置される。またFeドープInPブロック層159の上面の一部、及びメサストライプ部3000の上面にはストライプ状のp型InGaAsコンタクト層160a、160bが配置される。SiN膜161はp型InGaAsコンタクト層160a、160bの境界部分(結合部分)とFeドープInPブロック層159の上面を覆うように配置される。半導体レーザ用p側電極162aはその一部がp型InGaAsコンタクト層160aの上面に接するようにSiN膜161上に設けられ、光変調器用p側電流162bはその一部がp型InGaAsコンタクト層160bの上面に接するようにSiN膜161上に設けらる。また共通n側電極162cはn型InP基板151の裏面に設けられる。

【0073】ここで、メサストライプ部3000内のp型GaInP格子不整合層155を含まない部分、すなわち、n型InP下側クラッド層152、アンドープ多重量子井戸層(活性層)153a、p型InP第1上側クラッド層154、p型InP第2上側クラッド層156a、及びp型InPキャップ層158aが半導体レー



ザの能動層を含む積層構造を構成し、該積層構造とp型InGaAsコンタクト層160a、p型電極162aおよびn型電極162cとにより半導体レーザが構成される。また、メサストライプ部3000内のp型GaInP格子不整合層155を含む部分、すなわち、n型InP下側クラッド層152、アンドープ多重量子井戸層（光吸収層）153b、p型InP第1上側クラッド層154、p型GaInP格子不整合層155、p型InP第2上側クラッド層156b、及びp型InPキャップ層158bが光変調器の能動層を含む積層構造を構成し、該積層構造と、p型InGaAsコンタクト層160b、p型電極162bおよびn型電極162cとにより光変調器が構成されている。

【0074】上記第1の実施例では、活性層103aの上側に回折格子形状に成形された光ガイド層107を設けたものについて示したが、本第3の実施例のように回折格子157を基板151表面にエッチングにより形成し、活性層の下側に回折格子が配置される構成としてもよく、上記第1の実施例と同様の効果を奏する。

【0075】実施例4。図10は本発明の第4の実施例による光変調器付き半導体レーザの構造を示す一部切り欠き斜視図である。図において、171はn型InP基板である。基板171の一部には回折格子177が形成されている。メサストライプ部4000において、n型InP下側クラッド層172はn型InP基板171上に配置され、アンドープInGaAs/InGaAsP多重量子井戸活性層173a、173bはn型InPクラッド層172上に配置されている。p型InP第1上側クラッド層174はアンドープ多重量子井戸活性層173a、173b上に配置され、p型InAsP格子不整合層175はp型InP上側クラッド層174上の所定の領域にストライプ状に一定の長さだけ配置され、p型InP第2上側クラッド層176aはp型InAsP格子不整合層175上に配置され、p型InP第2上側クラッド層176bはp型InP第1上側クラッド層174上に配置されている。p型InPキャップ層178aはp型第2上側クラッド層176a上に配置され、p型InPキャップ層178bはp型InP上側クラッド層176b上に配置されている。FeドープInPブロック層179はメサストライプ部4000の両脇に配置されている。またFeドープInPブロック層179の上面の一部、及びメサストライプ部4000の上面にはストライプ状のp型InGaAsコンタクト層180a、180bが配置されている。SiN膜181はp型InGaAsコンタクト層180a、180bの境界部分（結合部分）とFeドープInPブロック層179の上面を覆うように配置されている。半導体レーザ用p側電極182aはその一部がp型InGaAsコンタクト層180aの上面に接するようにSiN膜181上に設けられ、光変調器用p側電極182bはその一部がp型

InGaAsコンタクト層180bの上面に接するようにSiN膜181上に設けられている。また共通n側電極182cはn型InP基板171の裏面に設けられている。

【0076】ここで、メサストライプ部4000内のp型InAsP格子不整合層175を含む部分、すなわち、n型InP下側クラッド層172、アンドープ多重量子井戸層（活性層）173a、p型InP第1上側クラッド層174、p型InAsP格子不整合層175、p型InP第2上側クラッド層176a、及びp型InPキャップ層178aが半導体レーザの能動層を含む積層構造を構成し、該積層構造と、p型InGaAsコンタクト層180a、p型電極182aおよびn型電極182cとにより半導体レーザが構成される。また、メサストライプ部4000内のp型GaInP格子不整合層175を含まない部分、すなわち、n型InP下側クラッド層172、アンドープ多重量子井戸層（光吸収層）173b、p型InP第1上側クラッド層174、p型InP第2上側クラッド層176b、及びp型InPキャップ層178bが光変調器の能動層を含む積層構造を構成し、該積層構造と、p型InGaAsコンタクト層180b、p型電極182bおよびn型電極182cとにより光変調器が構成されている。

【0077】上記第2の実施例では、活性層123aの上側に回折格子形状に成形された光ガイド層127を設けたものについて示したが、本第4の実施例のように回折格子177を基板171表面にエッチングにより形成し、活性層の下側に回折格子が配置される構成としてもよく、上記第2の実施例と同様の効果を奏する。

【0078】実施例5。図11はこの発明の第5の実施例による光変調器付き半導体レーザの構造を示す一部切り欠き斜視図であり、図12は図11に示す半導体レーザの主要部の共振器長方向に沿った断面図である。図において、201はn型InP基板であり、メサストライプ部5000において、n型InP下側クラッド層202はn型InP基板201上に配設され、アンドープInGaAs/InGaAsP多重量子井戸構造層203a、203bはn型InP下側クラッド層202上に配置される。p型InP第1上側クラッド層204はアンドープInGaAs/InGaAsP多重量子井戸構造層203a、203b上に配置される。p型InP第2上側クラッド層205はp型InP第1上側クラッド層204上に配置され、所定領域（205b）ではその層厚が薄く、他方の領域（205a）ではその層厚が厚い。p型GaInP格子不整合層206はp型InP第2上側クラッド層205上に配置され、p型InP第3上側クラッド層207はp型GaInP格子不整合層206上に配置される。p型InGaAsP光ガイド層208はp型InP第3上側クラッド層207a上に回折格子に成形されて配置され、p型InPキャップ層20

9aは回折格子に成形されたp型InGaAsP光ガイド層208を埋め込むようにp型第3上側クラッド層207a上に配置され、p型InPキャップ層209bはp型InP第3上側クラッド層207b上に配置される。FeドープInPブロック層210はメサストライプ部5000の両脇に配置される。またFeドープInPブロック層210の上面の一部、及びメサストライプ部5000の上面にはストライプ状のp型InGaAsコンタクト層211a、211bが配置される。SiN膜212はp型InGaAsコンタクト層211a、211bの境界部分(結合部分)とFeドープInPブロック層210の上面を覆うように配置される。半導体レーザ用p側電極213aはその一部がp型InGaAsコンタクト層211aの上面に接するようにSiN膜212上に設けられ、光変調器用p側電流213bはその一部がp型InGaAsコンタクト層211bの上面に接するようにSiN膜212上に設けられる。また、共通n側電極213cはn型InP基板201の裏面に設けられる。

【0079】ここで、メサストライプ部5000内のp型InP第2上側クラッド層205のうちその厚い領域(205a)を含む部分、すなわち、n型InP下側クラッド層202、アンドープInGaAs/InGaAsP多重量子井戸活性層203a、p型InP第1上側クラッド層204a、p型InP第2上側クラッド層205a、p型GaInP格子不整合層206、p型InP第3上側クラッド層207a、回折格子に成形されたp型InGaAsP光ガイド層208、及びp型InPキャップ層209aが半導体レーザの能動層を含む積層構造を構成し、該積層構造と、p型InGaAsコンタクト層211a、p型電極213aおよびn型電極213cとにより半導体レーザが構成される。また、メサストライプ部5000内のp型InP第2上側クラッド層205のうちその層厚の薄い領域(205b)を含む部分、すなわち、n型InP下側クラッド層202、アンドープInGaAs/InGaAsP多重量子井戸活性層203b、p型InP第1上側クラッド層204b、p型InP第2上側クラッド層205b、p型GaInP格子不整合層206、p型InP第3上側クラッド層207b、p型InPキャップ層209bが光変調器の能動層を含む積層構造を構成し、該積層構造と、p型InGaAsコンタクト層211b、p型電極213bおよびn型電極213cとにより光変調器付き半導体レーザの製造工程を示す工程別斜視図である。

【0080】以下、本実施例による光変調器付き半導体レーザの製造工程を図13に沿って説明し、併せてその内部構造を詳しく説明する。まず、図13(a)に示すように、n型InP基板201上に、n型InP下側クラッド層202、アンドープInGaAs/InGaAs

P多重量子井戸構造層203、及びp型InP第1上側クラッド層204を、例えばMOCVD法により、順次エピタキシャル成長する。さらに、p型InP第1上側クラッド層204上にSiO<sub>2</sub>膜215を堆積形成し、このSiO<sub>2</sub>膜215を、通常の写真製版技術、及びエッチング技術を用いて、図13(b)に示すように、所定の間隔を隔てて対向して配置された、半導体レーザの共振器長方向に沿って、共振器の両側に対向してストライプ状に延び、光変調器となる領域での幅が半導体レーザとなる領域での幅よりも狭い2本のストライプにパターンニングする。次に、図13(c)に示すように、SiO<sub>2</sub>膜パターン215を形成した第1上側クラッド層204上にp型InP第2上側クラッド層205をエピタキシャル成長する。図14(a)は図13(c)中のA-A線における断面図である。図14(a)に示すようにSiO<sub>2</sub>膜パターン215の幅の広い領域では、p型InP第2上側クラッド層205はSiO<sub>2</sub>膜パターン215の幅の狭い領域に比べて成長膜厚が厚くなる。以下の説明では膜厚の厚いp型InP第2上側クラッド層をp型InP第2上側クラッド層205a、膜厚の薄いp型InP第2上側クラッド層をp型InP第2上側クラッド層205bと表現することとする。

【0081】さらに、SiO<sub>2</sub>膜パターン215をエッチング除去した後、p型GaInP格子不整合層206をエピタキシャル成長し、さらに、写真製技術、及びエッチング技術を用いてGaInP格子不整合層206をパターンニングし、図13(d)に示すように、ストライプ状に成形する。図14(b)は図13(d)中のB-B線における断面図である。

【0082】GaInP格子不整合層206の格子定数はInP基板201よりも小さく、このGaInP格子不整合層206により直下のInGaAs/InGaAsP多重量子井戸構造層203は圧縮歪を受け、エネルギーバンド構造が変調を受ける。ここで、本実施例では、層厚の薄いp型InP第2上側クラッド層205bが形成された領域では、InGaAs/InGaAsP多重量子井戸構造層203のエネルギーバンドギャップはGaInP格子不整合層206を成長する以前に比べて広がるが、層厚の厚いp型InP第2上側クラッド層205aが形成された領域では、InGaAs/InGaAsP多重量子井戸構造層203のエネルギーバンドギャップはGaInP格子不整合層206を成長する以前と比べて変化がないようにp型InP第2上側クラッド層205の膜厚を設定する必要がある。即ち、層厚の薄いp型InP第2上側クラッド層205bが配置された領域では、量子井戸構造層203を構成するウェル層のうち最下に配置されるウェル層の上端から格子不整合層206までの距離が0.08μm以下となり、層厚の厚いp型InP第2上側クラッド層205aが配置された領域では、量子井戸構造層203を構成するウェル層のうち最

上に配置されるウェル層の上端から格子不整合層206までの距離が0.08 $\mu$ mより大きくなるように、p型InP上側第2クラッド層205の成長層厚を制御する。この制御はSiO<sub>2</sub>膜パターン215の光変調器領域及び半導体レーザ領域の各領域における幅を適切に設定することによって行なうことができる。ストライプ状の格子不整合層206の形成後の工程は、第1の実施例の光変調器付き半導体レーザの作製における図3(c)以降の工程と全く同じであるので、説明を省略する。

【0083】このような、本第5の実施例においても、上記第1ないし第4の実施例と同様、一括してエピタキシャル成長された同一の量子井戸構造層の上層に格子不整合層を配置することによって該量子井戸構造層のバンドギャップを部分的に異ならしめ、これによって半導体レーザの活性層と光変調器の光吸収層とを形成している。半導体レーザの活性層と光変調器の光吸収層とを同一の、かつ均一な層厚の半導体層でもって構成することができ、半導体レーザで発光するレーザ光の光変調器への伝達効率を従来に比べて大きく向上することができ、また、上記半導体レーザの活性層、及び光変調器の光吸収層は、選択成長マスク等を用いた成長ではなく、通常の1回目のエピタキシャル成長工程により形成されたものである。素子の特性に大きく影響する半導体レーザの活性層と光変調器の光吸収層の半導体層の品質を非常に優れたものとでき、素子の信頼性に優れ、長時間使用に対する寿命に関しても優れた素子を構成できる。

【0084】また、上記第1～第4の実施例では格子不整合層を共振器長方向において部分的に配置する構成としているので、格子不整合層の共振器長方向における端部によって僅かではあるがエッジ効果が発生し、これにより半導体レーザの活性層と光変調器の光吸収層との界面でエネルギーバンドギャップが狭くなる領域が形成されてしまうことが考えられるが、本第5の実施例では、上記第1～第4の実施例のように、共振器長方向において部分的に格子不整合層を形成するのではなく、半導体レーザと光変調器の双方に連続的に形成している。半導体レーザの活性層と光変調器の光吸収層との界面でエネルギーバンドギャップが狭くなる領域が形成されることがない。

【0085】なお、上記第5の実施例では第1上側クラッド層205の層厚を半導体レーザとなる領域で厚く光変調器となる領域で薄くし、格子不整合層としてInPよりも格子定数の小さいInGaPからなる層を用いたものについて説明したが、第1上側クラッド層の層厚を半導体レーザとなる領域で薄く光変調器となる領域で厚くし、格子不整合層としてInPよりも格子定数の大きい、例えばInAsPからなる層を用いるようにしてもよい。

【0086】また、上記実施例では、格子不整合層20

6は、ウェハ上全面に成長した後に、写真製版技術、及びエッチング技術を用いてストライプ状に成形するようにしているが、格子不整合層を形成すべき領域に開口を有する形状にパターニングされた絶縁膜をウェハ上全面に設け、これをマスクとして用いる選択成長技術を用いてストライプ状の格子不整合層を形成するようにしてもよい。また、上記実施例では、量子井戸構造層203として多重量子井戸構造層を用いたものについて示したが、これは単一量子井戸構造層であってもよい。

【0087】実施例6. 図15(a)はこの発明の第6の実施例による端面窓構造半導体レーザの構造を示す斜視図、図15(b)は図15(a)中のC-C線における断面図である。図において、250はp型GaAs基板である。n型GaAs電流ブロック層251は基板250上に配置される。電流ブロック層251には基板250に達する断面V字型のストライプ状溝が設けられる。p型AlGaAs下側クラッド層252は電流ブロック層251上、及び上記ストライプ状溝内に配置される。量子井戸活性層253は下側クラッド層252上に配置され、n型AlGaAs第1上側クラッド層254は活性層253上に配置される。GaAsよりも格子定数の小さい組成のGaInPからなる格子不整合層260は第1上側クラッド層254上に配置され、n型AlGaAs第2上側クラッド層255は格子不整合層260上、及び第1上側クラッド層254上に配置され、n型GaAsコンタクト層256は第2上側クラッド層255上に配置される。

【0088】以下、製造工程を説明する。まず、p型GaAs基板250上にn型電流ブロック層251を結晶成長した後、素子中央部に電流ブロック層251を貫通し基板250に達するストライプ状のV溝を形成する。この後、ウェハ上にp型AlGaAs下側クラッド層252、p型AlGaAs活性層253、及びn型AlGaAs第1上側クラッド層254を順次成長する。ここで、第1上側クラッド層254の層厚は、活性層253の量子井戸構造を構成するウェル層の上端と、この後の工程で第1上側クラッド層254上に形成される格子不整合層260との間の距離が0.03 $\mu$ m以上、0.08 $\mu$ m以下となるように設定する。

【0089】次に、第1上側クラッド層254上の全面にGaAsよりも格子定数の小さい組成のGaInPからなる格子不整合層260を結晶成長した後、通常の写真製版技術、及びエッチング技術を用いて、レーザ出射端面となる部分及びその近傍の領域以外の格子不整合層を除去する。量子井戸活性層253のうち格子不整合層260の直下の領域は、格子不整合層260が存在することによって圧縮歪が加わり、そのバンドギャップエネルギーはこれ以外の領域のバンドギャップエネルギーよりも大きくなる。

【0090】その後、ウェハ上全面にn型AlGaAs

第2上側クラッド層255、及びn型GaAsコンタクト層256を順次結晶成長する。次に、ウェハを所望の厚みにまで研磨した後、共振器長に相当する幅のバー状に劈開する。典型的な高出力半導体レーザでは共振器長は300～600 $\mu$ mである。次に電極形成を行い、最後に窓層端面のコーティングを行なった後、チップ分離を行いレーザチップとして完成する。

【0091】このような本実施例による半導体レーザでは、量子井戸活性層253上に形成した所定の層厚の第1上側クラッド層上の所定領域に、基板よりも格子定数の小さい材料からなる格子不整合層260を設け、活性層253のうちこの格子不整合層260の直下の領域のバンドギャップエネルギーを他の領域よりも大きくするようにしたから、劈開端面上へのエピタキシャル成長といった複雑な工程を行なうことなく、再現性、制御性よく窓構造付きの半導体レーザを作製できる。

【0092】なお、上記第6の実施例では、第1上側クラッド層上のレーザ出射端面となる部分及びその近傍の領域に、基板よりも格子定数の小さい材料からなる格子不整合層を設けたものについて説明したが、逆に、レーザ出射端面近傍以外の領域、即ち、レーザ内部の領域に基板よりも格子定数の大きい材料からなる格子不整合層を設け、この格子不整合層の直下の活性層のバンドギャップエネルギーを小さくするようにしてもよく、上記実施例と同様の効果を奏する。

【0093】また、上記第6の実施例では、第1上側クラッド層の層厚を均一として、共振器長方向において部分的に格子不整合層を設けるようにしたものについて説明したが、第1上側クラッド層の層厚をレーザ出射端面近傍の領域とレーザ内部の領域とで異なるものとして、共振器長全長にわたって格子不整合層を設けるようにしてもよく、上記実施例と同様の効果を奏する。

【0094】

【発明の効果】以上のように、この発明によれば、一括してエピタキシャル成長された同一の量子井戸構造層の上層に格子不整合層を配置することによって該量子井戸構造層のバンドギャップを部分的に異ならしめ、これによって半導体レーザの活性層と光変調器の光吸収層とを形成しているので、半導体レーザの活性層と光変調器の光吸収層とを同一の、かつ均一な層厚の半導体層をもって構成することができ、半導体レーザで発光するレーザ光の光変調器への伝達効率を従来に比べて大きく向上することができる効果があり、また、上記半導体レーザの活性層、及び光変調器の光吸収層は、選択成長マスク等を用いた成長ではなく、通常の1回目のエピタキシャル成長工程により形成されたものであるため、素子の特性に大きく影響する半導体レーザの活性層と、光変調器の光吸収層の半導体層の品質を非常に優れたものとでき、高信頼性で、かつ、長寿命の光変調器付き半導体レーザが得られる効果がある。

【0095】また、この発明によれば、量子井戸活性層の上層に格子不整合層を配置することによって核量子井戸活性層のバンドギャップを部分的に異ならしめ、これによって出射端面近傍の活性層のバンドギャップがレーザ内部の活性層のバンドギャップよりも広い窓構造を構成しているので、その作製工程において、劈開端面上へのエピタキシャル成長といった複雑な工程が不要であり、再現性、制御性よく窓構造付きの半導体レーザを作製できる効果がある。

10 【図面の簡単な説明】

【図1】この発明の第1の実施例による光変調器付き半導体レーザの構造を示す一部切り欠き斜視図である。

【図2】図1に示す光変調器付き半導体レーザの主要部の共振器長方向に沿った断面図である。

【図3】図1に示す光変調器付き半導体レーザの製造工程を示す斜視図である。

【図4】図1に示す光変調器付き半導体レーザの製造工程を示す斜視図である。

20 【図5】量子井戸構造上にこれと格子整合しない層を部分的に配置することにより量子井戸層のエネルギーバンド構造を部分的に変調する方法を示す図（格子不整合層により直下の単一量子井戸層のエネルギーバンド構造を変調する“ストレッサ（Stressor）”の層構造図とエネルギーバンド構造図）である。

【図6】InGaAs格子不整合層とGaAs単一量子井戸層との間に配置される層の層厚とGaAs単一量子井戸層のエネルギーバンド構造の変調との関係を示す図である。

30 【図7】この発明の第2の実施例による光変調器付き半導体レーザの構造を示す一部切り欠き斜視図である。

【図8】図7に示す光変調器付き半導体レーザの主要部の共振器長方向に沿った断面図である。

【図9】この発明の第3の実施例による光変調器付き半導体レーザの構造を示す一部切り欠き斜視図である。

【図10】この発明の第4の実施例による光変調器付き半導体レーザの構造を示す一部切り欠き斜視図である。

【図11】この発明の第5の実施例による光変調器付き半導体レーザの構造を示す一部切り欠き斜視図である。

40 【図12】図11に示す光変調器付き半導体レーザの主要部の共振器長方向に沿った断面図である。

【図13】図11に示す光変調器付き半導体レーザの製造工程を示す斜視図である。

【図14】図11に示す光変調器付き半導体レーザの製造工程を示す断面図である。

【図15】この発明の第6の実施例による窓構造付き半導体レーザの構造を示す一部切り欠き斜視図、及び主要部の共振器長方向に沿った断面図である。

50 【図16】従来の光変調器付き半導体レーザの構造を示す一部切り欠き斜視図、及び主要部の共振器長方向に沿った断面図である。

【図17】図16に示す光変調器付き半導体レーザの製造工程を示す図である。

【図18】従来の他の光変調器付き半導体レーザの構造及び製造工程を説明するための図である。

【図19】フランツ-ケルディシュ効果を利用したレーザ光の変調動作を説明するための図である。

【図20】量子閉込シュタルク効果を利用したレーザ光の変調動作を説明するための図である。

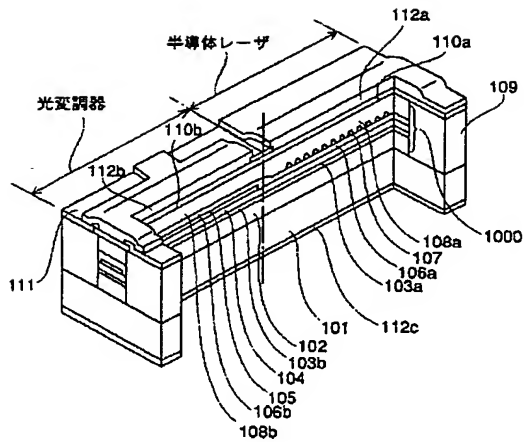
【図21】従来の窓構造半導体レーザの構造を示す斜視図である。

【符号の説明】

101 n型InP基板  
102 n型InP下側クラッド層  
103 アンダー多重量子井戸活性層  
104 p型InP第1上側クラッド層  
105 p型GaInP格子不整合層  
106 p型InP第2上側クラッド層  
107 p型InGaAsP光ガイド層  
108 p型InPキャップ層  
109 FeドーピングInPブロック層  
110 p型InGaAsコンタクト層  
111 SiN膜  
112a レーザ用p側電極  
112b 光変調器用p側電極  
112c 共通n側電極  
121 n型InP基板  
122 n型InP下側クラッド層  
123 アンダー多重量子井戸活性層  
124 p型InP第1上側クラッド層  
125 p型InAsP格子不整合層  
126 p型InP第2上側クラッド層  
127 p型InGaAsP光ガイド層  
128 p型InPキャップ層  
129 FeドーピングInPブロック層  
130 p型InGaAsコンタクト層  
131 SiN膜  
132a レーザ用p側電極  
132b 光変調器用p側電極  
132c 共通n側電極  
151 n型InP基板  
152 n型InP下側クラッド層  
153 アンダー多重量子井戸活性層  
154 p型InP第1上側クラッド層  
155 p型GaInP格子不整合層  
156 p型InP第2上側クラッド層  
157 回折格子

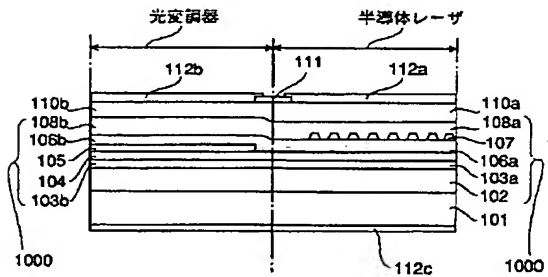
158 p型InPキャップ層  
159 FeドーピングInPブロック層  
160 p型InGaAsコンタクト層  
161 SiN膜  
162a レーザ用p側電極  
162b 光変調器用p側電極  
162c 共通n側電極  
171 n型InP基板  
172 n型InP下側クラッド層  
173 アンダー多重量子井戸活性層  
174 p型InP第1上側クラッド層  
175 p型InAsP格子不整合層  
176 p型InP第2上側クラッド層  
177 回折格子  
178 p型InPキャップ層  
179 FeドーピングInPブロック層  
180 p型InGaAsコンタクト層  
181 SiN膜  
182a レーザ用p側電極  
182b 光変調器用p側電極  
182c 共通n側電極  
201 n型InP基板  
202 n型InP下側クラッド層  
203 アンダー多重量子井戸活性層  
204 p型InP第1上側クラッド層  
205 p型InP第2上側クラッド層  
206 p型GaInP格子不整合層  
207 p型InP第3上側クラッド層  
208 p型InGaAsP光ガイド層  
209 p型InPキャップ層  
210 FeドーピングInPブロック層  
211 p型InGaAsコンタクト層  
212 SiN膜  
213a レーザ用p側電極  
213b 光変調器用p側電極  
213c 共通n側電極  
250 p型GaAs基板  
251 n型GaAs電流ブロック層  
252 p型AlGaAs活性層  
253 p型AlGaAs下側クラッド層  
254 n型AlGaAs第1上側クラッド層  
255 n型AlGaAs第2上側クラッド層  
256 n型GaAsコンタクト層  
257 p側電極  
258 n側電極  
260 GaInP格子不整合層

【図1】

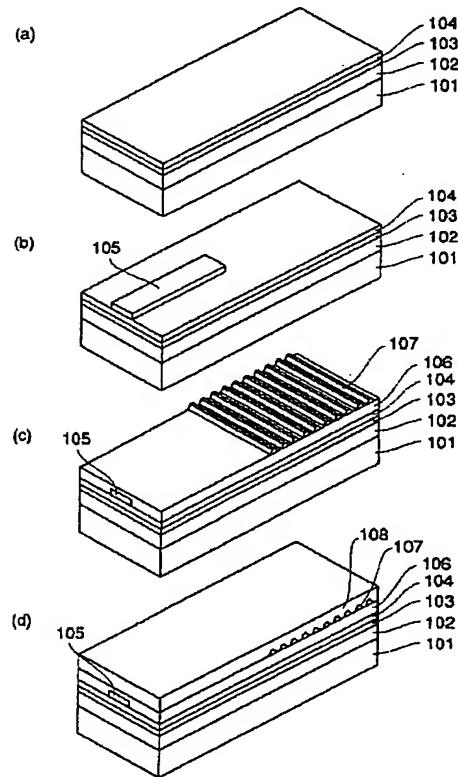


- 101: n型InP基板  
 102: n型InP下側クラッド層  
 103: 多量量子井戸活性層  
 104: p型InP第1上側クラッド層  
 105: p型GaInP格子不整合層  
 106: p型InP第2上側クラッド層  
 107: p型InGaAsP光ガイド層  
 108: p型InPキャップ層  
 109: FeドーピングInPブロック層  
 110: p型InGaAsコンタクト層  
 111: SIN膜  
 112a: レーザ用p側電極  
 112b: 光変調器用p側電極  
 112c: 共通n側電極

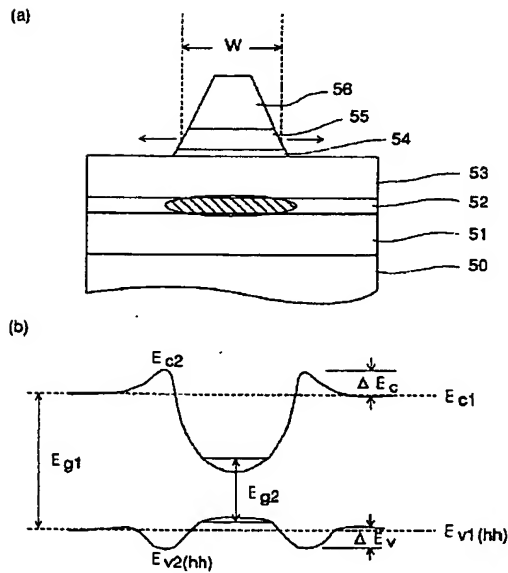
【図2】



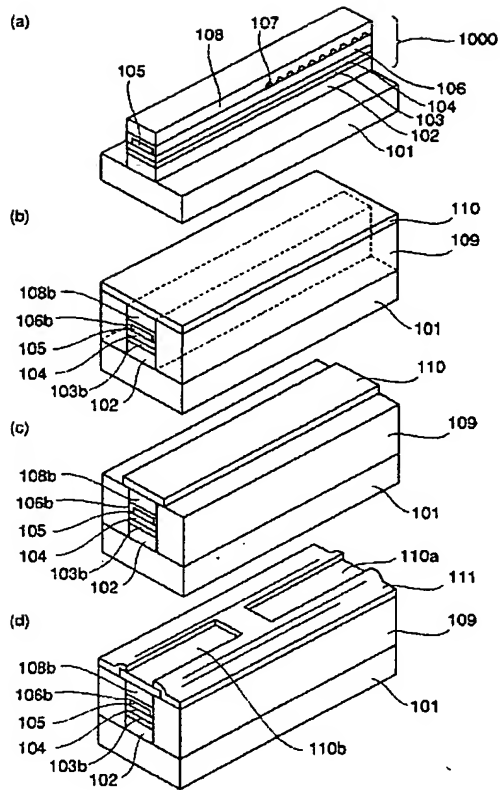
【図3】



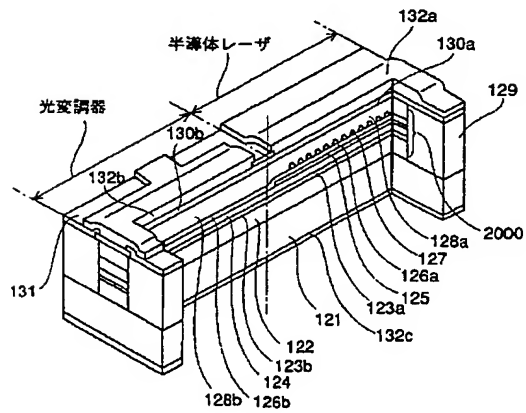
【図5】



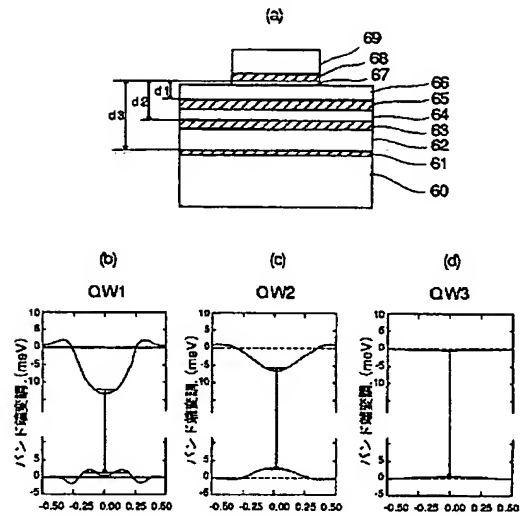
【図4】



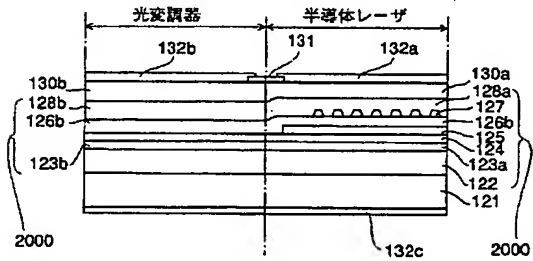
【図7】



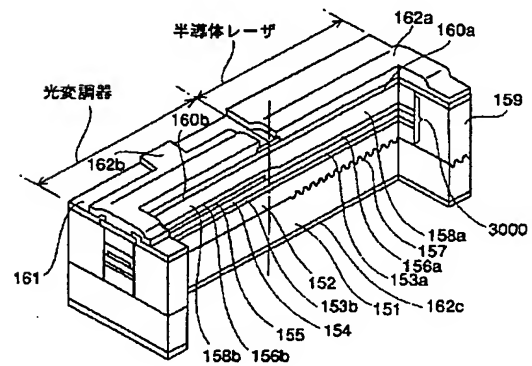
【図6】



【図8】

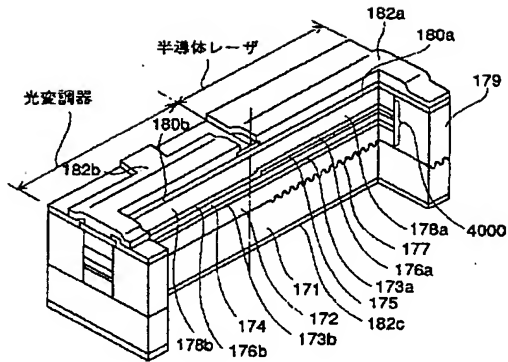


【図9】

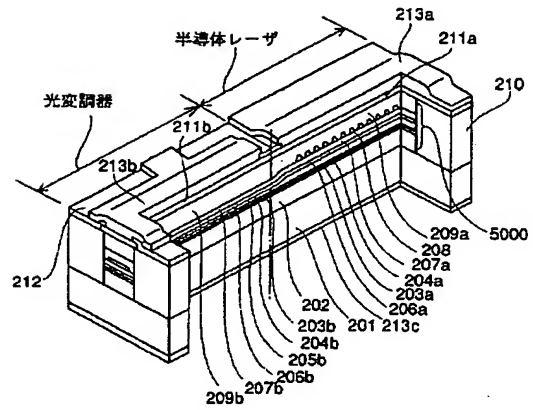




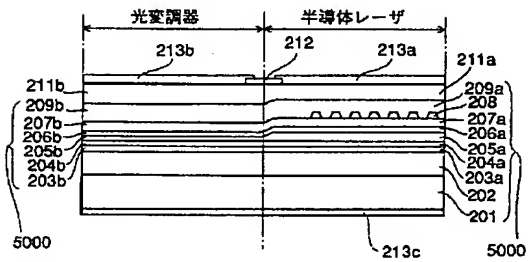
【図10】



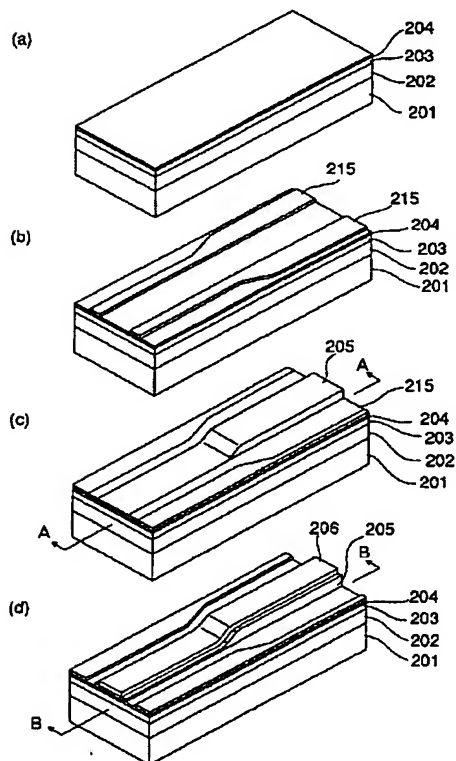
【図11】



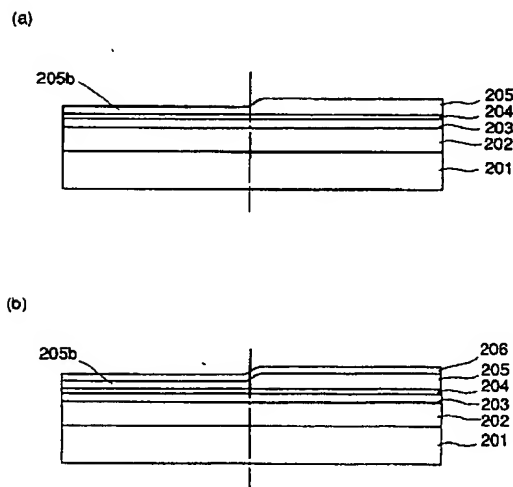
【図12】



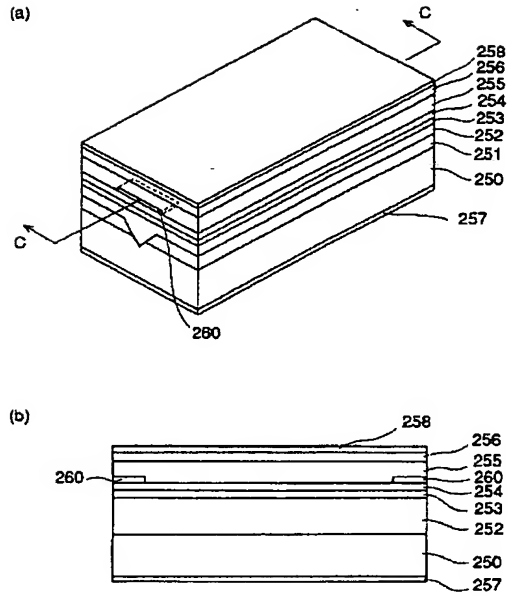
【図13】



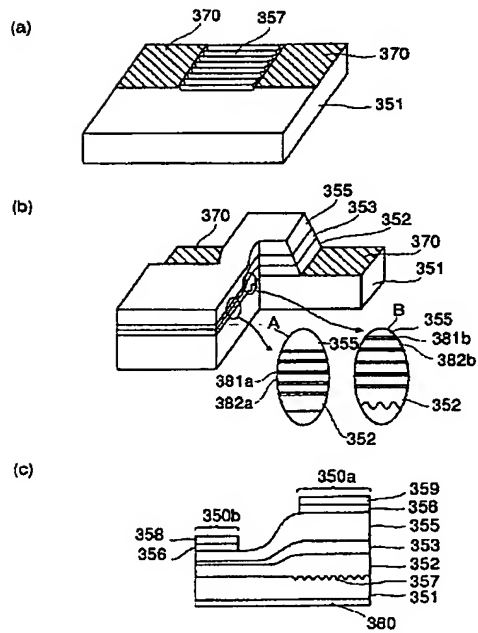
【図14】



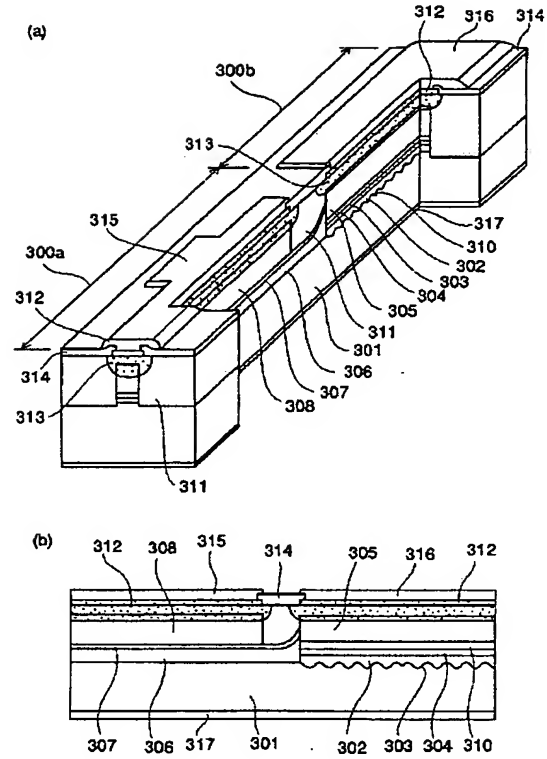
【図15】



【図18】



【図16】



【図19】

